



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO, POR ASPERSIÓN EN EL CENTRO
NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA Y BIOTECNOLOGIA**

INTA - CNIAB.

Para Optar al Título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por

Br. Maura Josefina Gutiérrez Peralta.
Br. Gema Noraya Díaz Huete.

Tutor

Ing. Horacio José González Arias.

Managua, Mayo 2016.

Dedicatoria

A Dios; por permitirme cumplir mis sueños y culminar con éxito esta etapa importante de mi vida, **A mis padres; José Tomas Gutiérrez González**; por apoyarme, comprenderme y brindarme su confianza, inculcándome valores y sobre todo el amor a Dios, por estar conmigo en buenos y malos momentos; **Silma Peralta Castillo** (q.e.p.d.); Aunque no esté presente siempre la recordaré con amor, sé que se sentiría orgullosa de mis logros, no solo me dió la vida, sino que me brindó muchos momentos de felicidad que siempre los llevare en mi corazón, de usted aprendí muchas cosas que marcaron mi vida. **A mi hermano; Aldo José Gutiérrez Peralta** Por ser una persona admirable para mí, con la que siempre puedo contar, por saberme comprender y hacerme ver mis errores cuando los cometo, por apoyarme en buenos y malos momentos y ayudarme a superar la etapa más difícil de mi vida, pero sobre todo por brindarme tu amistad y confianza, hablándome siempre con la verdad.

A mis familiares y amigos; que me han apoyado e impulsado a salir adelante con sus consejos y sugerencias en estos arduos y duros años dándome muchos momentos inolvidables.

Encomienda al señor tus obras,

Y Tus proyectos se realizaran.

Proverbios: 16. 3

Maura Josefina Gutiérrez Peralta

Agradecimiento

A Dios: Cuanta alegría siento en mi corazón padre celestial, que por tu gracia y amor me has dado la dicha de culminar mi carrera, ante las dificultades que se me han presentado en estos años, Cada día es una nueva oportunidad para volver a empezar, sentir y confiar en tu amor, saber que en medio de momentos difíciles, siempre hay un resquicio de esperanza esperando por mí.

A mi padre Y a mi hermano: Gracias por apoyarme toda mi vida, por compartir todos estos duros años conmigo, por todo el sacrificio que han hecho para que yo pudiera estudiar, ayudándome a realizar uno de mis sueños, sin ustedes no lo hubiese logrado; pero sobre todo por el amor y confianza que me han dado incondicionalmente.

Agradezco de manera especial a mi familia; Por ayudarme y darme fortaleza cuando la he necesitado, siempre estar conmigo, apoyándome y respetando mis decisiones.

A mi tutor Ing. Horacio González; Por brindarme un poco de su tiempo, paciencia, ayuda y apoyo incondicional siempre que lo necesite. Por enseñarme que en la vida uno no tiene que ser parte del problema si no la solución.

Al INTA -CNIAB; por el apoyo que se nos brindó en lo que estuvo en sus manos.

A Gema Noraya Díaz Huete; por sabernos respetar y comprender todos estos años que hemos compartido juntas, en buenos y malos momentos, principalmente en el tiempo de realización de esta tesis.

A mis profesores; porque de cada uno he aprendido algo importante, por apoyarme en lo que pudieron, e inculcarme a aprender cada día más, principalmente a la Ing. Claudia Reyes, por el apoyo brindado en estos años.

A mis amigos porque sé que cuento con ellos, por apoyarme y animarme a seguir adelante día a día.

Maura Josefina Gutiérrez Peralta.

Dedicatoria

Dedico de manera especial **a Dios** por brindarme la sabiduría, por permanecer a mi lado en cada momento a lo largo de toda mi vida, demostrándome que cada error es un tesoro invaluable que debemos guardar con recato para poder aprender de ellos a ser mejor cada día.

A mis padres, Heriberto Díaz y Azucena Huete por que han hecho posible el inicio del éxito en mi vida, por depositar su confianza en mí y por darme todo su amor y comprensión.

A mi esposo Carlos Mejía por haber estado conmigo en todos los momentos durante la realización de la tesis y darme en cada instante un impulso para culminar mis estudios, por ayudarme a encontrarle un sentido a cada experiencia de mi vida.

A mi hijo, Carlos Emmanuel Mejía Díaz por ser mi orgullo y mi espíritu de superación por hacer que cada día se vuelva aún más importante.

Gema Díaz Huete

Agradecimiento

A Dios, mi mayor fortaleza, el pilar más importante en mi vida, le pedí sabiduría para poder responder a mis dudas, paciencia para solucionar mis problemas y perseverancia para continuar la lucha, y me dio problemas, muchos problemas los cuales a medida que los solucioné adquirí la sabiduría que le pedí, la paciencia que necesitaba y la perseverancia para seguir adelante.

Todo lo puedo en Cristo que me fortalece

Filipenses 4.13

A mis padres Heriberto Díaz y Azucena Huete, por la dedicación y esfuerzo que me han ofrecido para poder finalizar mis estudios.

A mis hermanos por ser mi mayor ejemplo a seguir y por compartir conmigo sus conocimientos y oportunidades.

A mi compañera Maura Gutiérrez, por su paciencia, por darme una lección de vida, nunca rendirme ante las adversidades.

A los maestros forjadores de mis conocimientos en especial a mi estimado **Ingeniero Horacio González** por demostrarme que el querer es poder, por su tiempo e incondicional apoyo.

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria INTA, por haberme dado muchas oportunidades para realizar mi estudio de monografía.

A Carlos Mejía, mi esposo, compañero, amigo y colega por brindarme su colaboración en los momentos difíciles.

Gema Díaz Huete.

Resumen

En el **Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología INTA-CNIAB**, el cual está ubicado en el Departamento de Managua, en el km 14.5 Carretera Norte, se estiman 70 MZ para experimentación de variedades de Cultivos, implementando sistemas de irrigación por Aspersión convencional en sus ciclos productivos en el verano.

Para medir la eficacia de operación del sistema de riego se realizan pruebas técnicas de: Coeficiente de Uniformidad con el método de Christiansen, Profundidad Radicular, Velocidad de Infiltración, % Humedad, Pérdidas del Sistema, Presión, Velocidad del viento, Radios Húmedos, Aforo del equipo de bombeo, eficiencia de la Unidad de Bombeo, medición del caudal del aspersor por medio del método volumétrico, calicatas, sondeos de suelos, levantamiento planimétrico de la red Hidráulica del sistema y resultados de laboratorio por tipo de muestra analizada; tales como, capacidad de campo por método de olla de presión, densidad aparente y Textura del suelo por el método del hidrómetro de buyucus

Las pruebas técnicas de Operación del sistema de Riego se efectúan en campo y en laboratorio, para que una vez procesada y analizada la información se dictamine el estado técnico del sistema de riego y posteriormente implementar las mejoras si estas fuesen necesarias.

INDICE DE CONTENIDO.

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	ANTECEDENTES	2
III	OBJETIVOS	4
3.1	Objetivo General	4
3.2	Objetivos Específicos	4
IV	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
V	JUSTIFICACIÓN	5
VI	MARCO TEORICO.....	6
6.1	El Equipo de bombeo	6
6.1.1	Partes fundamentales de un equipo de bombeo.....	6
6.1.1.1	Bombas	7
6.1.1.2	Columna	9
6.1.1.3	Arrancadores.....	9
6.1.1.4	Transformador.....	10
6.1.2	Carga Total Dinámica	10
6.1.3	Potencia Requerida por la Bomba y el Motor.....	11
6.1.4	Curvas Características del Equipo de Bombeo.....	12
6.1.5	Bombas de turbina para pozos profundos.	15
6.1.5.1	Funcionamiento.....	15
6.1.5.2	Curvas Características de las Bombas de Turbina	16
6.1.5.3	Selección de la Bomba de Turbina.....	17
6.1.6	Datos para seleccionar Bombas	20
6.1.7	Instalación del Equipo de Bombeo.....	21
6.1.8	Evaluación del Rendimiento de Operación de la Estación de Bombeo	21

6.1.8.1	Determinación Sistemática de la Eficiencia del Conjunto.....	21
6.1.9	Pasos a seguir para determinar las Causas del Bajo Rendimiento	22
6.1.10	Procedimiento general para la Evaluación de eficiencias electromecánicas.....	23
6.1.10.1	Mediciones hidráulicas	23
6.1.10.1.1	Niveles de bombeo	23
6.1.10.1.1.1	Métodos para medir Niveles de bombeo	23
6.1.10.1.2	Caudal.....	24
6.1.10.1.3	Presión de bombeo	25
6.1.10.2	Mediciones eléctricas	26
6.1.10.2.1	Voltaje	26
6.1.10.2.2	Corriente	26
6.1.11	Determinación de la eficiencia electromecánica	28
6.1.12	Determinación de la potencia eléctrica	28
6.1.13	Determinación de la eficiencia electromecánica total	29
6.2	Eficiencia de Distribución del agua de la Fuente de almacenamiento a la parcela de Riego.....	30
6.2.1	Red de distribución del agua (tuberías).	30
6.2.2	Evaluación de pérdidas por fricción en la tubería	30
6.2.2.1	Pérdidas en el sistema.	31
6.2.2.1.1	Por Rozamiento	31
6.2.2.1.2	En Accesorios	31
6.2.2.1.2.1	Pérdidas de agua por fugas de agua en uniones, accesorios, etc.....	31
6.2.3	Caudales del Sistema de Riego.....	31
6.2.3.1	Caudal Neto	31

6.2.3.2	Caudal Bruto	32
6.2.4	Presión en el Sistema	32
6.3	Evaluación Hidráulica del Sistema de Riego por Aspersión	32
6.3.1	Eficiencia de Riego	33
6.3.1.1	Eficiencia de Distribución de Agua	33
6.3.1.2	Coeficiente de Uniformidad (CU).....	34
6.3.1.2.1	Análisis zonal	35
6.3.1.2.2	Normas de uniformidad.....	35
6.3.1.3	Coeficiente de Variación o Coeficiente de Hart (CV o CH).....	36
6.3.1.4	Eficiencia en la Aplicación del agua de Riego.....	37
6.3.1.5	Eficiencia de Aplicación de Agua a la parcela.....	37
6.3.1.6	Eficiencia de Aplicación de los Aspersores	38
6.3.1.7	Eficiencia de Almacenamiento	38
6.4	Características del Suelo	39
6.4.1	Propiedades Físicas	39
6.4.1.1	Textura	39
6.4.1.2	Estructura.....	42
6.4.1.2.1	Tipos de Estructura.....	43
6.4.1.3	Densidad Aparente.....	45
6.4.1.4	Densidad Real.....	47
6.4.1.5	Porosidad	47
6.4.2	Propiedades Hidrofísicas	49
6.4.2.1	Capacidad de Campo.....	49
6.4.2.1.1	Métodos para Determinar la Capacidad de Campo	49
6.4.2.2	Límite Productivo.....	50

6.4.2.3	Punto de Marchitez Permanente (P.M.P)	50
6.4.2.4	Humedad Aprovechable	50
6.4.2.4.1	Porcentaje de Humedad en el Suelo.....	51
6.4.2.5	Velocidad de Infiltración	52
6.4.2.5.1	Curva de Velocidad de Infiltración.....	52
6.4.2.5.2	Curva de Altura de Agua Infiltrada	53
6.4.2.5.3	Método de Infiltrómetros de Doble Cilindro	55
6.4.2.5.4	Ecuación de Kostiakov-Lewis para calcular y ajustar la Curva de Infiltración	55
6.4.2.6	Profundidad Radicular	56
6.5	Necesidades de Agua del Cultivo.....	57
6.5.1	Evapotranspiración	57
6.5.2	Evapotranspiración de Referencia	57
6.5.3	Coeficiente kc del Cultivo	58
6.6	El Riego por Aspersión.....	60
6.6.1	Elementos que integran un Sistema de Riego por Aspersión	60
6.6.1.1	Aspersores	61
6.6.1.2	Accesorios.....	62
6.7	Características del Sistema.....	63
6.7.1	Espaciamiento entre Aspersores y entre Laterales.....	63
6.7.2	Tiempo de puesta de riego	64
6.7.3	Frecuencia de riego	65
6.7.4	Radio de Humedad y Velocidad del Viento	65
VII	DISEÑO METODOLOGICO	65
7.1	Georeferenciación de la Zona de Evaluación.....	65

7.1.1	Localización de la Zona de Estudio.	66
7.1.1.1	Macrolocalización.....	66
7.1.1.2	Microlocalización.....	67
7.1.2	Vías de Acceso.....	68
7.2	Evaluación del Equipo de Bombeo.....	68
7.3	Perdidas en la distribución del agua que va de la Fuente de Almacenamiento a la Parcela	69
7.4	Eficiencias de Distribución y aplicación del agua de riego.	69
7.4.1	Uniformidad de Distribución, metodología	69
7.5	Evaluación Agronómica.....	71
7.5.1	Humedad.	71
7.5.2	Velocidad de Infiltración.....	71
7.5.3	Profundidad Radicular	72
VIII	ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	73
8.1	EVALUACION DE UNIDAD DE BOMBEO.....	73
8.1.1	Evaluación del Equipo de Bombeo	73
8.1.1.1	Evaluación Eléctrica	73
8.1.1.1.1	Especificaciones del motor:.....	79
8.2	EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL SISTEMA.....	80
8.3	Prueba de Aforo en aspersores.....	83
8.3.1.1.1	Aforo de los Aspersores (Método Volumétrico).....	83
8.3.1.2	Presión de los Aspersores.....	84
8.3.1.3	Aforo en Unidad de Bombeo	85
8.4	EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE RIEGO	88
8.4.1	Descripción de la Red Hidráulica.	88

8.4.2	Eficiencia de Distribución y Aplicación del agua	91
8.4.2.1	Prueba de Coeficiente de Uniformidad.....	91
8.4.2.1.1	Método de Christiansen	91
8.4.2.1.2	Programa el regante	92
8.5	EVALUACION AGRONOMICA	93
8.5.1	Porcentaje de Humedad en el Suelo después de un Riego.....	93
8.5.2	Determinación de lámina de riego de reposición	96
IX	CONCLUSIONES.....	98
X	RECOMENDACIONES.....	100
XI	BIBLIOGRAFIA.....	101
XII	ANEXOS	
XIII	GLOSARIO DE PALABRAS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas Características de una Bomba.....	13
Figura 2. Curvas características típicas para la operación de bombas de turbinas en pozos profundos a velocidad constante.....	18
Figura 3. Cargas a las que una bomba común de turbina de 25 cm, rinde 1900 litros de agua por minuto y factores relativos a la bomba.....	18
Figura 4. Efectos de los cambios de operación sobre la eficiencia de la bomba.....	19
Figura 5. Triángulo Textural.....	41
Figura 6. Comportamiento de la Infiltración Según la Estructura del Suelo.....	45
Figura 7: Intervalos de Humedad Disponible Según Textura.....	52
Figura 8. Valores Típicos del Kc para diferentes cultivos.....	59
Figura 9. Esquema General para calcular la ETc.....	59
Figura 10. Accesorios para Riego por Aspersión.....	62
Figura 11. Macrolocalización.....	66
Figura 12. Microlocalización.....	67
Figura 13. Vías de Acceso.....	68
Figura 14. Representación de Voltaje Vs Tiempo.....	74
Figura 15. Representación de Amperaje Vs Tiempo.....	75
Figura 16. Representación de Potencia (KW) Vs Tiempo.....	75
Figura 17: Curvas Características del Equipo de Bombeo en el punto de Operación de trabajo de la institución.....	77

Figura 18. Resultados del Rendimiento de la Curva Característica de la Bomba.....	78
Figura 19. Contenido de Agua en el Suelo (ATD es el agua disponible).....	95
Figura 20. Representación de Calicatas de campo.....	95

INDICE DE TABLAS

Tabla1. Selección del Transformador con respecto a la Potencia de la Bomba.....	10
Tabla 2. Normas de Uniformidad según FAO.....	36
Tabla 3. Clasificación de la Textura Según Tamaño de las Partículas.....	40
Tabla 4. Clasificación de los Suelos según su Porcentaje de Textura.....	41
Tabla 5. Relación de la Estructura del Suelo con la Infiltración.....	44
Tabla 6. % de Capacidad de Campo Según Textura.....	49
Tabla 7. Clasificación de la Magnitud de Infiltración.....	54
Tabla 8. Espaciamiento entre Aspersores y Laterales.....	64
Tabla 9. Valores Promedio por variable de Evaluación Eléctrica.....	74
Tabla 10. Calculo de la Eficiencia Electromecánica del sistema.....	76
Tabla 11. Consolidado de Resultados de Caudal.....	80
Tabla 12. Recopilación de Información para Resultados de Evaluación Hidráulica.....	81
Tabla 13. Obtención del Caudal del Sistema de Riego por Aforos in situ	82
Tabla 14. Caudal promedio de aspersor SENINGER 4023.....	84
Tabla 15. Cuadro comparativo entre Evaluación realizada y datos de Diseño...87	
Tabla 16. Cultivos Establecidos en INTA durante Periodo de Evaluación.....	90
Tabla 17. Resultados de Operación del Sistema de Riego.....	92
Tabla 18. Cuadro Comparativo por Metodologías de Evaluación del CU.....	93
Tabla 19. Calculo de Porcentajes de Humedad en lote de Maíz.....	94
Tabla 20. Calculo de porcentajes de Humedad en lote de Quequisque.....	94
Tabla 21. Calculo de lámina de agua después de un riego en lote 1.	96
Tabla 22. Calculo de lámina de agua después de un riego en lote 2.....	96
Tabla 23. Resultados de La lámina de riego de reposición.....	97
Tabla 24. Análisis comparativo de Resultados Agronómicos.....	97

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Evaluación del Equipo de Bombeo.....	i
Anexo 2. Determinación del Caudal de Descarga de la Bomba.....	ii
ANEXO 3. Cálculo de la Carga Total Dinámica.....	iv
ANEXO 4. Ubicación de la Zona Evaluada.....	vii
ANEXO 5. Evaluación Hidráulica.....	ix
ANEXO 6. Prueba de Coeficiente de Uniformidad.....	xv
ANEXO 7. Resultados comprobativos de uniformidad a través de programa el regante.....	xx
ANEXO 8. Representación gráfica de los datos de Uniformidad obtenidos.....	xxii
ANEXO 9. Prueba de Aforo y Presión de los Aspersores.....	xxvii
ANEXO 10. Evaluación Agronómica.....	xxxii
ANEXO 11. Características Climáticas.....	xxxvi
ANEXO 12. Principales Características Hidrofísicas.....	xlvi
ANEXO 13. Cálculos de Parámetros de Diseño.....	xlix
ANEXO 14 Determinación de la Velocidad de Infiltración.....	li
ANEXO 15. Determinación de la Profundidad Radicular Óptima del Cultivo.....	lxi
ANEXO 16. Condiciones Edáficas de la Zona de Evaluación.....	lxvii
Anexos 17. Datos proporcionados por Ing. Egda Castillo Asesora de la Tesis, y responsable del área de Manejo de Agua del INTA – CNIAB.....	lxxi

I INTRODUCCIÓN

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, dispone de nueve Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT), donde se desarrollan innovaciones tecnológicas en generación y multiplicación de semillas y otras actividades de importancia nacional.

A pesar de la importancia que tienen estos nueve CDT a nivel nacional, solamente cinco están provistos con sistemas de riego, es de mencionar que dos de ellos están provistos de riego en un 90% de su potencial. Actualmente, el riego que se aplica en estos CDT a los cultivos, se basa en la experiencia de las personas que intervienen en los distintos procesos; lo que provoca disminución en los niveles de producción, incremento en los costos de operación, deficiencia del sistema de riego y en la aplicación de la lámina de agua, por tanto se estima pertinente evaluar los mismos con la intención de establecer sistemas de riego que permitan suplir las necesidades en tiempo y forma y constituir un importante aporte técnico a investigadores y operadores. Por lo antes expresado dichos centros, deben colocarse en primera fila de las explotaciones más eficientes con la entrada en vigencia de la Ley Nacional de Aguas que contempla el aprovechamiento racional del recurso hídrico tanpreciado.

Dicha evaluación se llevará a cabo en Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB). Este Centro de Desarrollo Tecnológico se encuentra entre las coordenadas geográficas 12°08'18", latitud Norte y 86°09'04" longitud Oeste en el Municipio de Managua, Departamento de Managua, sobre el km 14.5 c. carretera Norte luego 1.2 km al Sur.

Se pretende realizar el estudio monográfico, por medio de pruebas de campo en los meses de verano, meses en los que es necesario el uso de los sistemas de riego, condiciones que mejorarán los estudios a efectuar.

II ANTECEDENTES

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), ha establecido convenios con las universidades, que puede ser muy provechoso en el desarrollo de esta investigación ya que la misma concedería ventajas a las instituciones involucradas. De modo que aunque la presente investigación esté concebida para desarrollarse por investigadores del INTA, la misma está diseñada para considerar la participación de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en el proceso, por medio de estudiantes egresados. Dicho trabajo fue presentado por el INTA-CNIAB, quien se encargó de plantear los objetivos que forman parte de su línea de investigación, así como las cláusulas del convenio institucional, que deberán seguirse a favor de ambas partes.

Como resultado de la relación de beneficio mutuo, se desarrolló un trabajo de tesis INTA – UNI (2009 – 2010) en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB) denominado “Determinación de Parámetros Hidrofísicos en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología”, que podrá aportar elementos a este nuevo estudio “***Evaluación del Sistema de Riego por aspersión en INTA, CNIAB***”, debido que en los Centros de Desarrollo Tecnológicos de INTA, para las aplicaciones de agua en los cultivos, no se cuenta con información de normas de riego, hidromódulos, etc. únicamente existe el personal responsable para operar el sistema de riego de forma empírica. Precedentemente se realizaron dos trabajos de monografía para la evaluación del Sistema de Riego en este Centro de Investigación, efectuadas en los años 1994 y 1999, donde fueron evaluados parámetros de productividad y eficiencia del Sistema, cabe mencionar que éste fue evaluado con un equipo de bombeo diferente al actual.

En el año 1986 el CNIAB ya contaba con un sistema de riego por aspersión, el cual ya presentaba dificultades técnicas en su manejo, por lo que en el año 1997, fue instalado un nuevo sistema que contaba con un equipo de bombeo y arreglo completo de tuberías y accesorios de control y protección. Dichos sistemas han contado con la misma fuente de suministro la cual es un pozo perforado de 180 pies de profundidad, con una bomba turbina vertical ubicada a 110 pies, entregando un caudal de 600 gpm. Hasta que en el año 2007 fue perforado un nuevo pozo a 30 metros del anterior de 220 pies de profundidad y 21 pulgadas de diámetro, ubicada la bomba vertical a 180 pies, entregando en este caso un caudal de 1000 gpm el cual es el que hasta la fecha se encuentra suministrando el agua para el riego

En la actualidad no ha existido la cultura técnica de evaluación, desconociéndose la eficiencia con la que se opera el sistema de riego y la distribución de agua en el sistema. Por lo que con el presente trabajo se pretende realizar una evaluación de los estados actuales del sistema y con esto conocer el comportamiento técnico de las variables involucradas en la operación del sistema de riego, para posteriormente realizar los ajustes necesarios.

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar el sistema de riego por aspersión en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología CNIAB, con el propósito de lograr eficiencia en la aplicación del agua de riego.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones de eficiencia y operación del sistema de bombeo en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB).
- Determinar en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB), la eficiencia de distribución del agua, que va de la fuente de almacenamiento a la parcela de riego y a la vez estudiar posibles propuestas de mejoramiento.
- Determinar en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB) la eficiencia de aplicación del agua con fines de riego y analizar posibles propuestas de mejoramiento.

IV PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los años de operación de la unidad de riego, el CNIAB, institución encargada del INTA región III, de los programas de asistencia por desarrollo de investigaciones de cultivos con asistencia del riego, dentro de sus programas no ha incorporado en sus planes anuales la evaluación de operación del equipo de riego, por lo que es imperante la necesidad de realizar un estudio evaluativo del Sistema de riego que se encuentra instalado actualmente en la institución, para conocer la eficiencia y operatividad tanto, del equipo de Bombeo, como de la red Hidráulica que compone el sistema de riego. Esta evaluación de sus productos a obtenerse, servirá de insumo para mejorar la productividad de los cultivos y costos de operación del sistema de riego, debido a que en la actualidad es notorio el mal estado en que se encuentran las tuberías, acoples y accesorios.

Se desconoce cómo darle mantenimiento a la estación de bombeo y red, debido a que no se cuenta con técnicos capacitados para llevar a cabo dicha función.

V JUSTIFICACIÓN

El Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB), se caracteriza por dedicarse a la producción de semilla que cubre las demandas a nivel nacional, sin embargo en el periodo de verano en este centro se hacen las labores agrícolas y se establecen los cultivos bajo un sistema de riego por aspersión, donde se especula que la red de distribución de este sistema de riego tiene numerosas fugas, las que generan problemas en cuanto a la Uniformidad de riego en las áreas de los cultivos (éstas no reciben la misma cantidad de agua).

De manera que el propósito fundamental de este estudio es realizar una evaluación en el sistema de riego por aspersión en este Centro Experimental, que permita identificar las eficiencias en el equipo de bombeo, conducción, distribución de agua, y en lámina de riego, a su vez analizar las posibles propuestas de mejoramiento, con lo antes expuesto se estará contribuyendo a

un adecuado manejo de caudales y al tiempo de riego, conservación del medioambiente, ahorro energético y de agua, así como también la aplicación razonable de las mismas a través de la uniformidad de láminas de agua.

VI MARCO TEORICO

6.1 El Equipo de bombeo

6.1.1 Partes fundamentales de un equipo de bombeo

Para llevar a cabo la elección del equipo de bombeo para un pozo profundo es necesario conocer la cantidad de agua que será posible extraer del mismo, así como, las alturas de succión y descarga (estáticas y dinámicas). Con estos parámetros se definen teóricamente la potencia requerida y por defecto elegir el equipo necesario. Además hay otros factores que hay que tomar en cuenta para elegir el equipo de bombeo adecuado tales como; las condiciones del pozo, es preciso mencionar que un pozo ideal es el que da agua limpia, fría, sin sólidos y sin gas, sin que baje en exceso, su nivel estacional durante el año. Existen gran variedad de requisitos que se deben tomar en cuenta para asegurar la vida útil del equipo de bombeo, algunos de los más importantes son:

- Pozo de diámetro adecuado, debe tener un ademe de por lo menos 4 pulgadas más que el diámetro de la tubería.
- Pozo ademado y con filtro de grava, no colapsado y correcta verticalidad.
- Pozo aforado, se deben comprobar los niveles estático y dinámico.
- Pozo sin azolve
- Dictamen técnico del pozo, de la calidad del agua y los estratos geológicos.

Algunos de los elementos más importantes que conforman un sistema de bombeo son:

6.1.1.1 Bombas

Para extraer agua de grandes profundidades es necesario contar con una máquina que provoque velocidad y presión en dicho líquido y así pueda salir a la superficie, y claro estamos hablando de una Bomba de agua, la cual al aplicarle energía eléctrica ocasiona que la energía mecánica que se produce, arrastre el agua hasta cierta altura. Para elegir la potencia de este equipo es necesario conocer la profundidad desde la que se extraerá el líquido, así como, la distancia a la que se quiere que esta llegue. La potencia de una bomba se mide en HP (caballos de fuerza), y las hay de diferentes tipos y necesidades.

Existen muchos tipos de bombas para diferentes aplicaciones, dentro de los cuales se pueden considerar dos grandes grupos:

- **Dinámicas (Centrífugas, Periféricas y Especiales)**
- **De desplazamiento Positivo y Negativo (Reciprocantes y Rotatorias)**

Por ejemplo:

La Bomba tipo sumergible: Consiste de un motor eléctrico sumergible directamente acoplado, que acciona una bomba centrífuga vertical. Estos dos elementos forman una unidad que está construida de tal manera que se puede enroscar directamente a ella la tubería de la columna, que a su vez es sujeta del brocal del pozo con la ayuda de una abrazadera de bronce.

El cuerpo de la bomba está compuesto de una o varias etapas, mismas que constan cada una de ellas por un impulsor y un tazón, el conjunto impulsor-tazón es el que genera presión en el agua al pasar por cada etapa hasta ser descargada en la columna de bombeo, la presión total generada por la bomba aumenta en proporción directa al número de etapas. Es importante tener en cuenta que los tazones tienen cojines lubricados por el agua por tal motivo la bomba nunca debe trabajar en seco, además de evitar el bombeo de residuos sólidos ya que estos son muy dañinos para la bomba tal es el caso de la arena,

por ello cuenta con una malla de acero inoxidable tipo colador que disminuye el paso de estos residuos que provocan daños considerables al equipo. Las bombas se identifican por el diámetro de salida en pulgadas y la potencia en Hp. Las bobinas del motor son enfriadas a base de agua por ello es muy importante que el motor siempre este lleno de agua sin aire o vapor, por eso se recomienda llenarlo completamente con agua limpia (preferentemente de garrafón) antes de ser instalado. Las especificaciones eléctricas de cada motor dependerán de las condiciones de trabajo a las que va a ser sometido tales como la profundidad de succión y la cantidad de agua a bombear, la mayoría de estos motores son alimentados con corriente alterna trifásica y una tensión de 220 o 440 Volts.

Bomba vertical tipo turbina: Como su nombre lo dice su eje de transmisión está colocado de forma vertical y puede ser lubricado por aceite o agua. Sus componentes principales son: Motor eléctrico externo, Cabezal de descarga, Columna, y Cuerpo de tazones e impulsores; la potencia del motor dependerá de la profundidad y la cantidad de agua a extraer, el cabezal de descarga es el elemento que permitirá alinear y sostener la transmisión del equipo, la columna está compuesta en su interior por la flecha, estrictamente alineada al cabezal y al cuerpo de tazones su diámetro dependerá también del caudal que se desea extraer, este último será diseñado de acuerdo a la cantidad de líquido, así como, la presión que se requiere. Ya que es éste, quien finalmente envía el agua hacia la superficie de descarga.

Para la elección de este tipo de bombas, primero se debe tomar en cuenta las condiciones físicas del pozo donde se instalará, ya que estos equipos son muy exigentes en cuanto a verticalidad debido a la alineación de su transmisión.

Un equipo de bombeo es un transformador de energía, utilizado para llevar con fuerza el agua a través de las tuberías; recibe energía mecánica que puede proceder de un motor eléctrico, térmico y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, posición o velocidad.

El Sistema de bombeo es un conjunto constituido por las canalizaciones y por los medios mecánicos, sus partes principales son:

6.1.1.2 Columna

Se le conoce así a la tubería instalada en un pozo y su longitud será la medida en metros desde la unión al cuerpo de la bomba hasta el brocal del pozo, generalmente está conformada por tramos de 3 o 6 metros, unidos con abrazaderas de acero, el diámetro de la misma va en función de la cantidad de agua que se va a extraer, una forma práctica y sencilla de calcular el diámetro exacto es elevar al cuadrado el diámetro propuesto en pulgadas y el resultado será los litros de agua por segundo que pueden fluir por esa tubería, esto sin elevar demasiado la velocidad de flujo del líquido así como las pérdidas hidráulicas.

6.1.1.3 Arrancadores

Cualquier motor de corriente alterna trifásica requiere de un arrancador, esto para protegerlos de los arcos eléctricos que se dan en los interruptores de seguridad; así como limitar, la sobre-corriente de arranque que demanda el motor en los conductores que lo alimentan y para obtener un funcionamiento apropiado de aceleración.

El diseño de cada uno de ellos depende de su fabricante, pero en general las funciones de los arrancadores son:

- Arrancar y parar los motores de una manera conveniente, ya sea de forma manual, automática o incluso de manera remota.
- Limitar la intensidad de la corriente en la línea, durante un retardo de tiempo apropiado para el arranque.
- Proteger el motor de sobre cargas eléctricas o por fallas de voltaje.
- Proporcionar una aceleración uniforme y suave al motor y la flecha de la bomba.

6.1.1.4 Transformador

Es recomendable tener un transformador exclusivo para el equipo de bombeo, y este se selecciona en función de la potencia de la bomba en HP con la ayuda de la tabla 1 que se muestra a continuación

Tabla1. Selección del Transformador con respecto a la Potencia de la Bomba

Parámetros para la elección de transformadores Potencia de la bomba en HP	Tamaño del transformador En KVA
Hasta 15	15
20 a 30	30
35 a 40	45
50 a 75	75
85 y 100	112.5
125 y 150	150
175 y 200	225
250 y 300	300
350	500

FUENTE: Reporte de prácticas profesionales, Miguel Ángel López García, Universidad Autónoma de zacatecas "Francisco García Salinas"

6.1.2 Carga Total Dinámica

Es la carga hidráulica total del proceso de bombeo, es la resultante de la sumatoria de la carga estática con la carga dinámica más las pérdidas generadas en el sistema y se expresa matemáticamente como:

$$CTD=H_S + H_F + H_{\Delta Z} + H_a$$

Donde:

CTD: Carga Total Dinámica de Bombeo (mt)

Hs: Carga Estática representada por la distancia vertical existente desde el nivel libre del agua en la fuente de abasto y el eje de la bomba.

Hf: Perdida de carga por fricción en toda la tubería (mt)

HΔZ: Desnivel entre la bomba y el aspersor alto.

Ha: Carga de trabajo de del aspersor.

6.1.3 Potencia Requerida por la Bomba y el Motor

La energía que entrega la bomba al fluido se conoce como potencia. De este modo, la potencia en el eje de la bomba, es aquella que corresponde para elevar una determinada masa de agua por unidad de tiempo, comunicándole una cierta presión al fluido para vencer la carga magnética. Se puede determinar a partir de la siguiente ecuación.

Para obtener la potencia del motor se toma en cuenta la eficiencia de la bomba, eficiencia del motor y un 20 % adicional como consumo de energía del cardan, cabezal y cierta pérdida de eficiencia del conjunto, que garantiza el periodo de vida útil o sobreconsumo razonable.

- Potencia Bomba.

$$H_p = \frac{Q(gpm) \times CTD(Pie)}{3960}$$

- Potencia del Motor

$$H_p = \frac{Q(gpm) \times CTD(Pie)}{3960 \times E_b \times E_m} \times 1.2$$

Donde:

Hp=Potencia de la Bomba

Q = Caudal elevado (gpm).

CTD = Carga total dinámica (pié).

Eb = Eficiencia de la bomba, $0 < \eta < 1$

Em = Eficiencia del motor

6.1.4 Curvas Características del Equipo de Bombeo

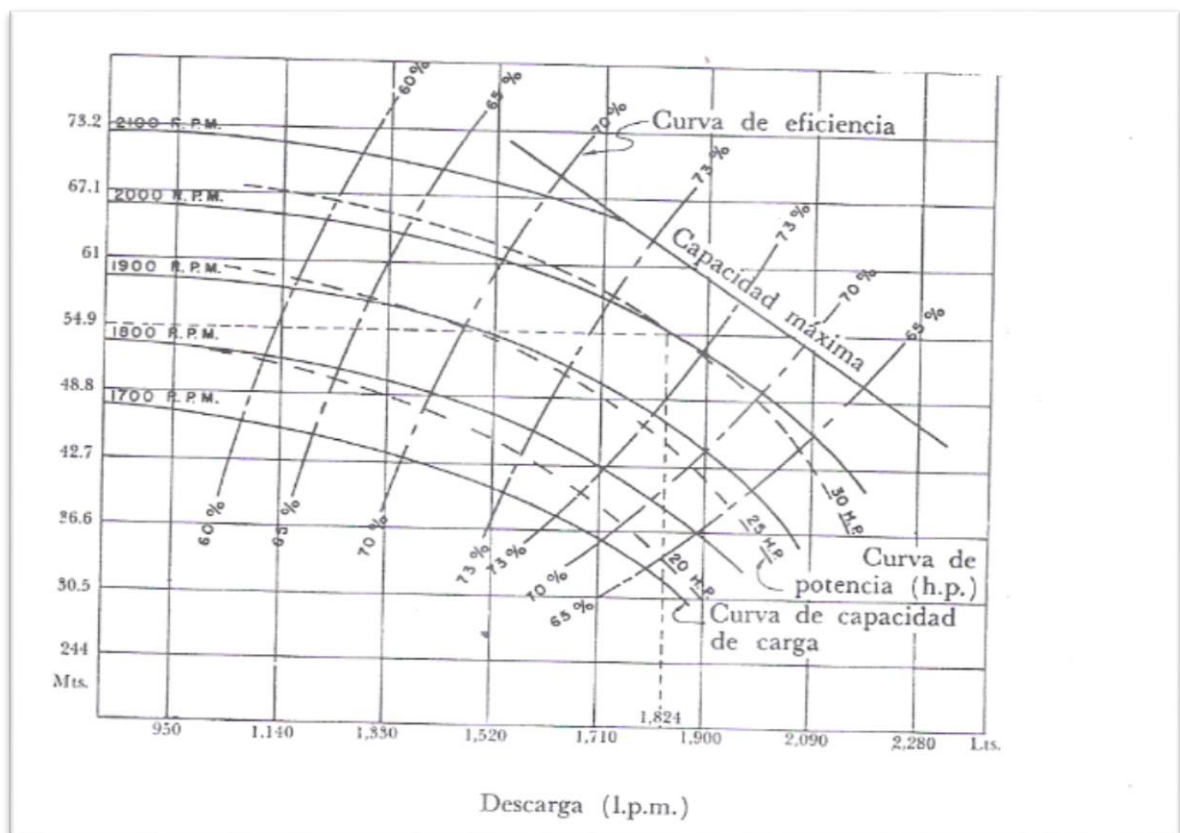
Para un trabajo determinado, la mejor selección del modelo de bombas es el que funcione con máxima eficiencia. Desafortunadamente esto se observa rara vez porque para cada modelo de bomba hay solo una capacidad y una carga en la que se obtiene el máximo de eficiencia. En vista de que es imposible para los fabricantes diseñar y construir unidades para cada tipo de operación y requisitos de funcionamiento, se ha decidido la fabricación de tipos estándar que abarquen las variaciones de capacidad y carga. Dentro de una amplia variedad de modelos de bombas ofrecidas por el fabricante, siempre hay la posibilidad de escoger una unidad que se adapte a las necesidades del interesado y lograr una eficiencia muy cercana al máximo posible. Existen curvas características que deben ser usadas para seleccionar la mejor unidad apropiada a la clase de tarea que se requiera.

Las curvas aludidas han sido calculadas en las fábricas después de pruebas exhaustivas y a base de cuidadosa medición de la capacidad de agua, presión, energía recibida, etcétera.

Se ofrecen series completas de curvas características que incluyen, además de la capacidad de carga a diversas velocidades, una curva de eficiencia y una curva de potencia. La curva de capacidad de carga para una velocidad constante de la bomba representa las diferentes cantidades de agua

suministradas por dicha bomba al variar la carga. Se ilustran también curvas de capacidad de carga a distintas velocidades recomendables para la bomba escogida. La curva de potencia muestra la cantidad de fuerza o energía necesaria para accionar la unidad. La curva de la eficiencia señala la cantidad de trabajo aprovechable de la bomba en porcentaje aprovechable de la fuerza suministrada al eje de la unidad. Se puede determinar el grado de eficiencia en cuanto se refiere a la carga, velocidad y capacidad. La bomba seleccionada debe siempre funcionar dentro de su límite de máxima eficiencia. (Véase Figura 1.)

Figura 1. Curvas Características de una Bomba.



Fuente: Bombas centrífugas, E. Corniur Rayo C. Mainor Hasta Editorial Paraninfo

Antes de que un sistema de bombeo pueda ser diseñado o seleccionado debe conocerse claramente su aplicación y características, para, poder mantener en forma adecuada y eficiente los sistemas.

La manera de conocer tales características se realiza con la ayuda de las curvas características de la bomba, las cuales nos dan a conocer el caudal, velocidad de giro, momento de torsión aplicado y la diferencia de presión entre la succión y la descarga de la bomba, con el fin de poder predecir el comportamiento de la bomba y obtener el mejor punto de operación.

Estas curvas son suministradas por los proveedores de bombas, de tal manera que el usuario pueda trabajar según los requerimientos de la instalación sin salir de los intervalos de funcionamiento óptimo, además de predecir qué ocurrirá al variar el caudal manejado, sirviendo como una gran herramienta de análisis y de comprensión del funcionamiento del equipo.

Dentro de las curvas Características se detallan variables de: Carga- capacidad (H-Q); Eficiencia (η -Q) y Potencia (N-Q)

La característica principal de la curva H-Q es que brinda la altura manométrica de la bomba para cada abscisa, es decir para cada caudal y para el número de revoluciones nominal.

La curva η -Q brinda el rendimiento en función del caudal y, obviamente, el caudal de diseño de la instalación que debe verificar el buen rendimiento de la bomba, es decir, señala la cantidad de trabajo aprovechable de la bomba en porcentaje aprovechable de la fuerza suministrada al eje de la misma.

La curva N-Q da los valores de la potencia absorbida para cualquier caudal elevado a la correspondiente altura manométrica, es decir, resulta el caballaje necesario para operar la bomba.

En algunos casos se añade en el juego de curvas la de la carga neta de succión positiva requerida la que es de importancia para evitar la cavitación

6.1.5 Bombas de turbina para pozos profundos.

Las bombas de turbina se clasifican según sea el tipo del flujo que suministra el propulsor. La bomba centrífuga descarga el agua en ángulo recto con el eje de rotación. En el modelo de flujo axial, el agua es impelida hacia arriba por el impulsor en forma muy semejante a la que se logra por la hélice de una lancha, otro modelo de este tipo de bomba es que se usa comúnmente consiste en la combinación del flujo axial y el centrífugo, lo cual se conoce como turbina de flujo mixto.

6.1.5.1 Funcionamiento

La bomba de turbina consiste de tres partes: cabezal, caja de la unidad y la columna de descarga. Hay un eje que va del cabezal a la caja y es el que hace funcionar el propulsor. La caja se coloca bajo la superficie del agua, consta de una mampara o rejilla para evitar el paso del lodo y arenillas a la bomba. Las bombas de turbina tienen aspas direccionales alrededor del propulsor. Al salir el agua del rotor las aspas se extienden gradualmente y guían el flujo hacia la caja, y la energía cinética se convierte en presión. Dichas aspas permiten una distribución más uniforme de la presión.

En las bombas de pozo profundo el diámetro máximo del propulsor se determina por el de la caja que lo contiene, y por supuesto depende del diámetro del pozo. Si se tiene en cuenta que los diámetros de los pozos son relativamente pequeños la carga obtenida mediante un propulsor sencillo, conocido como el grado sencillo, no es muy grande. Por lo general se requiere el uso de más de un grado para lograr la carga requerida por un propulsor de grado sencillo, que desemboca directamente en otro. La carga lograda con este tipo va en proporción directa con el número de grados, es decir, para una capacidad

determinada, la bomba de doble grado producirá el doble de la carga que el grado simple, etcétera.

El tipo de propulsor afecta la capacidad de la bomba, esta se determina por la dimensión de del área o sección en que ocurre el flujo y por la velocidad de este en la misma al atravesarla. La velocidad es en función de la velocidad periférica del propulsor, así que la cifra depende de la anchura de este.

Los propulsores también pueden ser diseñados con un grado mayor de eficiencias en una menor variedad de descargas, con rápidas disminución en la eficiencia tanto bajo cargas grandes como pequeñas.

En los pozos donde ocurren frecuentes fluctuaciones en la columna, por regla general los propulsores que ofrezcan curvas regulares de eficiencia logran mantenerlas durante todas las operaciones de la temporada.

Las fluctuaciones de temporada en el nivel freático deben ser determinadas previamente a la instalación de la bomba, a fin de que la caja de la bomba de turbina pueda ser colocada más abajo del punto inferior de captación. Pese a que la unidad pueda extraer agua debajo de la caja a base de succión, conviene conservar esta fuerza de succión en reserva contra una posible baja en el nivel freático.

6.1.5.2 Curvas Características de las Bombas de Turbina

Las curvas características de las bombas de turbina para pozos profundos se obtienen a base de pruebas y dependen principalmente del diseño de la caja y de la velocidad del eje propulsor. La capacidad de carga, eficiencia, potencia y velocidad son similares a las citadas para las bombas centrífugas. Las curvas de eficiencias, en especial son muy semejantes si las bombas se hacen funcionar a las velocidades recomendadas. Sin embargo, las bombas de turbina no funcionan a un grado tan alto de eficiencia, dentro de una escala de múltiples velocidades, como ocurre con las centrífugas. La razón es que no se puede lograr tal grado de eficiencia sino cuando las etapas de la caja están alineadas

con el flujo de agua que sale del extremo del propulsor. Al cambiar la velocidad del propulsor, la dirección del flujo del agua cambia también. Esto causa turbulencias contra las aspas y reduce la eficiencia.

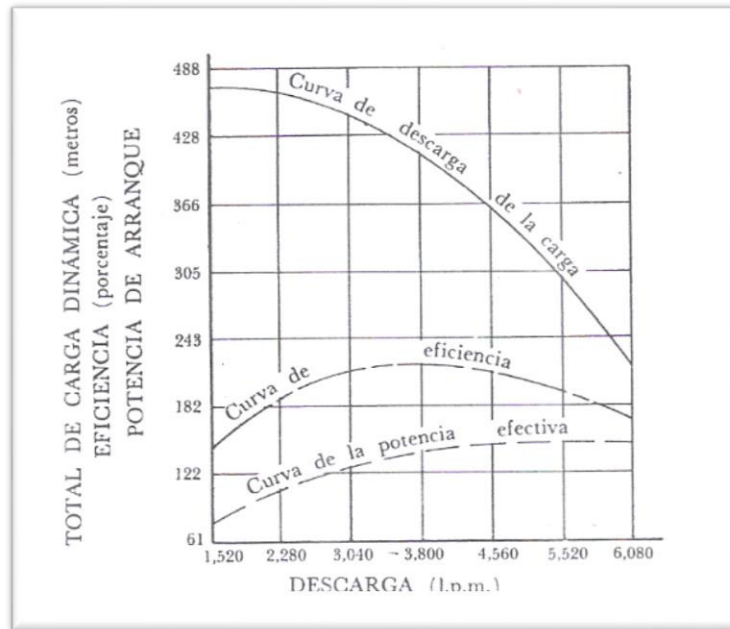
En la figuras 2 y 3 se muestran una curva característica típica de una bomba de turbina para pozo profundo. Al escoger una bomba es muy importante estudiar las curvas características para definir la operación de la misma. Si la bomba es muy grande, funcionara muy lejos y hacia la izquierda de la curva, bajara su eficiencia y un ligero descenso en la carga causara una fuerte disminución en la capacidad.

Cuando la bomba es demasiado pequeña, su funcionamiento se registrara muy lejos del lado derecho de la curva y esto significa una merma en la eficiencia. La carga obtenida en cada fase seria relativamente baja y se requerirían etapas adicionales, innecesarias si se escoge una bomba más adecuada.

6.1.5.3 Selección de la Bomba de Turbina.

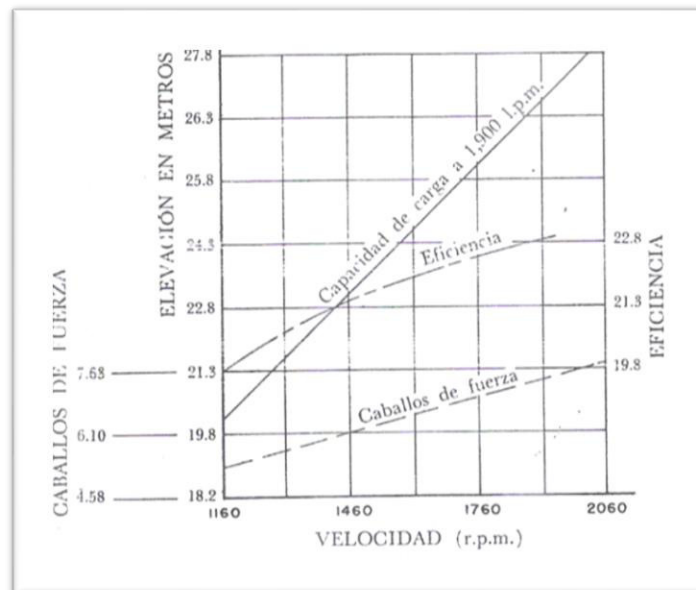
La bomba de turbina moderna se ha estereotipado en lo que respecta a material y fabricación en general. Probablemente las diferencias principales consistan en el diseño de la caja y del propulsor, así como en el sistema de lubricación. Algunas firmas ofrecen bombas lubricadas con aceite, otras tienen a la venta bombas de lubricación a base de agua y algunas empresas ofrecen modelos de los dos métodos de lubricación. Ambos tipos han dado buenos resultados. Los pozos con fina arenisca deben usar bombas lubricadas con aceite. Sin embargo, el agua para uso doméstico debe excluir totalmente el aceite y por ese motivo, es importante que se utilicen bombas lubricadas exclusivamente con agua.

Figura 2. Curvas características típicas para la operación de bombas de turbinas en pozos profundos a velocidad constante



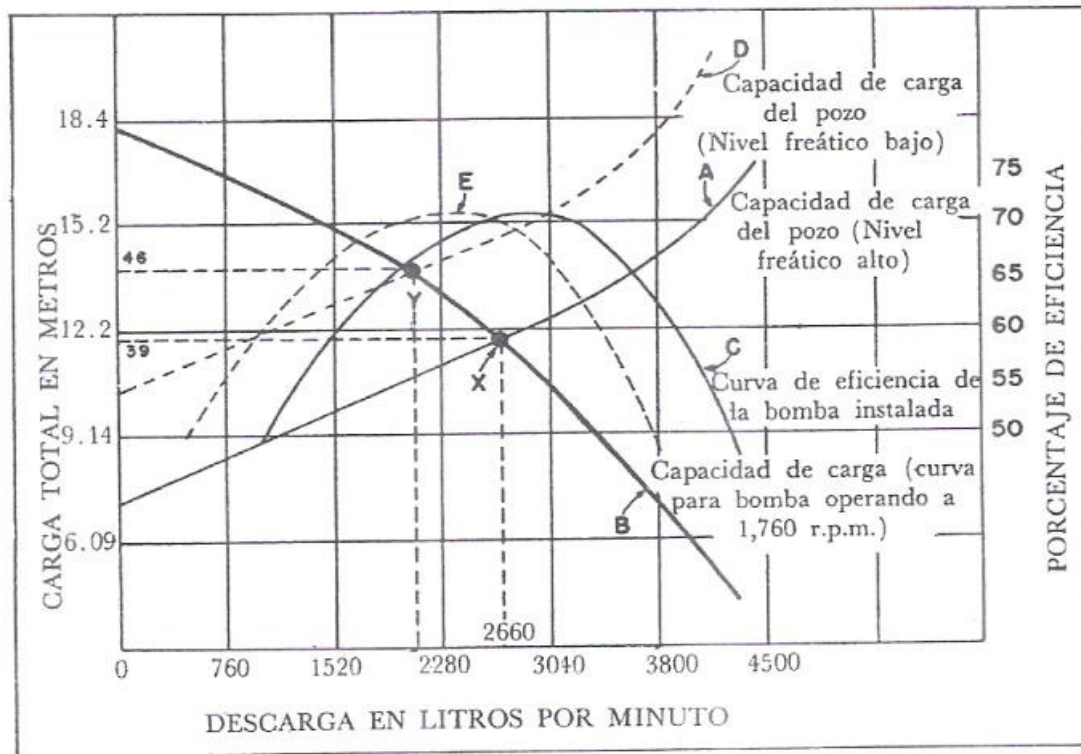
Fuente: Bombas centrífugas, E. Corniur Rayo C. Mainor Hasta Editorial Paraninfo

Figura 3. Cargas a las que una bomba común de turbina de 25 cm, rinde 1900 litros de agua por minuto y factores relativos a la bomba.



Fuente: Bombas centrífugas, E. Corniur Rayo C. Mainor Hasta Editorial paraninfo

Figura 4. Efectos de los cambios de operación sobre la eficiencia de la bomba.



Fuente: Bombas centrífugas, E. Corniur Rayo C. Mainor Hasta Editorial Paraninfo

En la figura 4 a la altura de A se ilustra la curva de la capacidad de carga en un pozo en condiciones de alto nivel freático.

La capacidad de carga se ilustra en B. bajo las condiciones las dos curvas se cruzan en x, lo cual indica que esta bomba obtendrá un caudal mayor con menor columna.

En la curva C se hace referencia a la eficiencia, posteriormente en la temporada, el nivel freático puede bajar lo que producirá la nueva curva de capacidad de carga trazada con la línea punteada D. esta cruza la línea B en el punto Y, lo que nos indica que se bombeara un menor caudal a una mayor carga.

Lo que provocara una menor eficiencia. Cuando se escoge una bomba, es conveniente conocer los datos exactos de las fluctuaciones del manto acuífero. En el caso ilustrado una bomba con curva de eficiencia según se marca con la

línea punteada E satisfaría todas las necesidades con un alto grado de eficiencia.

Según el diagrama ilustrado, una curva que rinda máxima eficiencia es indudablemente ventajosa en cualquier instalación, conforme a las condiciones descritas.

6.1.6 Datos para seleccionar Bombas

Antes de seleccionar la bomba es indispensable contar con datos exactos sobre las características del pozo. La selección de la unidad puede hacerse teniendo en cuenta la carga y capacidad requeridas, pero la instalación puede resultar defectuosa si la bomba no se adapta a las características del pozo. En consecuencia se deben hacer pruebas adecuadas en el pozo antes de pensar en una posible instalación permanente.

Este tipo de prueba debe hacerse con la mayor exactitud posible, ya que una capacidad o una carga erróneamente calculadas resultan muy perjudiciales. Los datos que se listan a continuación son los que necesitan los fabricantes para determinar el tipo y tamaño de bomba requerida según la característica del pozo:

- Profundidad del pozo
- Diámetro interior del pozo
- Profundidad del nivel estático del agua
- Suministrar curva de rendimiento
- Fluctuación del nivel del agua en la temporada
- Capacidad de la bomba
- Profundidad hasta el extremo del tubo de succión
- Si se necesita colador
- Tipo de encendido:

Eléctrico: voltaje, fases y ciclos

Gasolina, diesel

Gas natural, toma de fuerza.

6.1.7 Instalación del Equipo de Bombeo

La mayor parte de las características de las bombas centrífugas corresponde también a las de turbinas. Estas unidades deben quedar correctamente alineadas con la unidad de arranque, y su instalación debe hacerse en tal forma que la caja de la bomba no llegue a tocar la pared del pozo. Esto es importante porque la vibración de la bomba podría llegar a causar horadaciones en dichas paredes si está en contacto con las mismas.

6.1.8 Evaluación del Rendimiento de Operación de la Estación de Bombeo

6.1.8.1 Determinación Sistemática de la Eficiencia del Conjunto

Un modo de comprobar el rendimiento de una estación de bombeo consiste en medir el combustible o energía eléctrica consumida, para ello es necesario fijar el consumo total máximo permisible de energía, considerando un 20% extra de potencia que tiene en cuenta el consumo del cardan, el cabezal y cierta cobertura que garantiza un periodo de vida útil del conjunto o dicho de otro modo un rango de eficiencia permitido

$$H_{pm} = \frac{1.2 \times H \times Q}{76 \times Ef}$$

Dónde:

H_{pm}: Potencia máxima o potencia tope permitida.

Q: Gasto por aforo o mediante la curva característica.

H: Carga dinámica total (C.D.T)

Ef.: Eficiencia según el punto de trabajo.

1.2: Coeficiente que tiene en cuenta el consumo de energía del cardan, cabezal y cierta pérdida de eficiencia del conjunto, que garantiza el periodo de vida útil o sobreconsumo razonable.

6.1.9 Pasos a seguir para determinar las Causas del Bajo Rendimiento

Después de comprobado que el consumo de energía, en varias ocasiones es igual o superior al consumo tope, se procede a chequear el conjunto en el orden siguiente:

1. Medir los parámetros de trabajo de la Estación de Bombeo (Q-H) y hallar la eficiencia mediante la curva característica de la bomba para determinar si se corresponde con los utilizados en la formula o si la bomba se encuentra trabajando en un punto de baja eficiencia.
2. Si el caudal de trabajo de la bomba se corresponde con el caudal recomendado de explotación del pozo.
3. Comprobar la alineación, el estado del cabezal y si este se encuentra en el rango permisible.

De encontrarse en mal estado, cualquiera de los puntos anteriores, se procede a la extracción de la bomba para determinar el estado técnico de la misma, comprobando:

- Si la cantidad de tazones corresponde con la altura de descarga correspondiente.
- Si existen incrustaciones de carbonato de calcio en el interior de las columnas
- Si hay desgastes en las guías del eje de la bomba.
- Si hay desajuste de los impelentes
- Si hay menor o mayor cantidad de impelentes en el proyecto.

6.1.10 Procedimiento general para la Evaluación de eficiencias electromecánicas

6.1.10.1 Mediciones hidráulicas

Las mediciones Hidráulicas son un conjunto de Características que ayudan a comprender el comportamiento de operación del sistema y así diagnosticar su funcionamiento.

6.1.10.1.1 Niveles de bombeo

Nivel estático: Es el nivel del agua en un pozo cuando no está en operación, dicho de otra manera, es la distancia vertical que hay desde la superficie del suelo hasta el espejo del agua.

Nivel dinámico: Es el abatimiento que sufre el nivel estático durante el proceso de bombeo, este se define hasta que se establece el equilibrio hidráulico entre la cantidad de agua que se extrae y la capacidad de producción del pozo. En ese momento queda determinado el nivel dinámico del pozo, se mide a partir del brocal del pozo hasta el espejo del agua y es un valor fundamental en la selección de un equipo de bombeo, ya que con él se determina la longitud de la columna, así mismo obteniendo periódicamente este valor podemos conocer el comportamiento del acuífero.

6.1.10.1.1.1 Métodos para medir Niveles de bombeo

En la actualidad hay métodos muy eficientes para conocer el abatimiento que se produce durante el bombeo, tales como, el uso de sensores y el uso de sondas la neumática y la eléctrica,

- **Sonda eléctrica:** Dispositivo que consiste de dos alambres (cable) con forro de goma o plástico; una batería, generalmente de 9 voltios y un amperímetro. El circuito se forma por: la batería, el amperímetro, el alambre que baja al pozo y el alambre que sube del pozo; estos dos

alambres conectados a la batería junto con el amperímetro cierran el circuito. Las dos puntas que no están conectadas deben estar desnudas y separadas con cinta aislante para que estas no hagan contacto entre sí. Para que estas puntas al ser introducidas en el pozo conserven una posición recta, es necesario amarrar en su extremo un contrapeso (clavo, tornillo o fierro plano). El circuito se cierra cuando estas dos puntas hacen contacto con el agua, de ahí que el largo del cable desde su extremo inferior hasta el centro de la descarga será la profundidad del espejo del agua.

- **Sonda neumática:** Este instrumento de medición está compuesto por: un manómetro, una bomba de aire (similar a las usadas para las llantas de bicicleta o automóvil).

6.1.10.1.2 Caudal

Otro de los parámetros por conocer para determinar la eficiencia de un equipo de bombeo es el caudal, que es lo mismo los litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por segundo que hay en la descarga de un pozo. Para medir este parámetro se han ideado diversos métodos a consecuencia de las múltiples necesidades de obtener resultados prácticos. Aunque algunos métodos requieren equipos muy complicados y costosos, pero hay otros muy sencillos y económicos. El método a utilizar dependerá de la cantidad de flujo, las condiciones bajo las cuales se llevara a cabo la medición así como el grado de exactitud requerido.

En general, existe gran variedad de medidores tanto para conductos a presión como para ductos abiertos tales como: de velocidad, Tubo Pítot, Medidor de Área Variable (Rotámetro), Magnético, Ultrasónico, Vertedores, molinete, caudalimetro, entre otros. Así mismo, existen otros métodos para determinar el gasto en campo, tales como: el de flujo vertical y el volumétrico.

Volumétrico: Este método consiste en tomar el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido con la ayuda de un cronometro, la medición se hace directamente en la descarga y es recomendable realizarlo en pozos cuya presión es casi nula, ya que de lo contrario es muy complicado aforar.

Medidor volumétrico (caudalimetro): Este es un instrumento sencillo y directo que va midiendo la cantidad de agua a la descarga de la bomba.

6.1.10.1.3 Presión de bombeo

En sistemas de bombeo, se da el nombre de presión de bombeo a la energía de presión generada por la bomba, misma que es necesaria para mover cierta cantidad de agua de un punto a otro.

Existen varias definiciones de presión, de entre ellas están:

Presión atmosférica: por los aparatos que se usan para medirla (barómetros), es llamada también, presión barométrica, y es aquella que se presenta en un lugar debido al peso de la atmosfera.

Presión Manométrica: es la presión que se tiene en una superficie, sin tomar en cuenta la presión atmosférica por ello suele llamarse también presión relativa.

Presión absoluta: es el resultado de sumar la presión atmosférica y la presión manométrica. Se mide arriba del cero absoluto y puede estar arriba o debajo de la presión atmosférica.

El método más usual para conocer la presión de descarga en equipos de bombeo es por medio de un manómetro y este se debe instalar lo más cercano posible al cabezal de la bomba, en la tubería de descarga. Es el instrumento más usado para medirla, y para obtener valores lo más exacto posible. Es necesario la selección de un manómetro de mucha precisión.

Generalmente la lectura que obtenemos del manómetro está dada en bares o psi pero por razones prácticas, en el diseño y operación de equipos de bombeo, es preferible indicar la presión de descarga en metros columna de agua (m.c.a.).

6.1.10.2 Mediciones eléctricas

Para llevar a cabo la determinación de la eficiencia electromecánica en los equipos de bombeo, es de suma importancia conocer los parámetros eléctricos con los que trabaja la bomba y el motor, los cuales se mencionan enseguida.

6.1.10.2.1 Voltaje

La electricidad según su estado, puede ser estática o en movimiento; cuando está en movimiento es llamada también corriente eléctrica, La corriente eléctrica en función del valor y sentido de la tensión con que circula, puede ser continua o alterna; la continua es aquella en la que el valor y sentido de la tensión con que circula la corriente son constantes y la alterna es la que el valor y sentido de la tensión de circulación de la corriente son variables con respecto al tiempo, generalmente esta última es la que se utiliza en la alimentación de motores utilizados en los equipos de bombeo, en su modalidad trifásica.

El medio de circulación de la corriente eléctrica es un alambre conductor principalmente de cobre, la cantidad de electricidad que fluye por el en un segundo, recibe el nombre de Coulomb por segundo mejor conocido como Ampere. La tensión que los ampere necesitan para fluir por el conductor se le denomina Volt,

Los voltajes de alimentación más comunes para operar los motores en cualquier sistema de bombeo son:

MONOFASICOS: 120 Volts, 220 Volts

TRIFASICOS: 440 Volts

6.1.10.2.2 Corriente

Para llevar a cabo una instalación eléctrica, es muy importante conocer la corriente que consume cada equipo que se va a conectar, ya que con estos valores se puede determinar el calibre adecuado de los conductores por donde circulará la corriente, ya que a mayor valor de esta, mayor deberá ser el calibre

del conductor que se instalara, de la misma manera conociendo el valor de la corriente se pueden seleccionar los elementos de control y protección de los equipos.

La corriente, cuya unidad de medida es el ampere, es un parámetro eléctrico que se presenta en los circuitos por efecto de una carga conectada y que esta se encuentra en operación. Es decir, cualquier equipo que se encuentre funcionando consume una corriente, misma que está en función del tamaño de su potencia en watts y del voltaje de alimentación. En un motor, mientras mayor sea su potencia mayor será la corriente que demanda y a mayor sea el voltaje de alimentación la corriente disminuye.

Para determinar el valor de la corriente de un motor es necesario aplicar la siguiente formula:

$$I = \frac{P}{1.732 \times V \times f_p}$$

Dónde:

I = Corriente, en Amperes

P = Potencia del motor, en Watts

1.732 = Factor para sistemas trifásicos

V = Voltaje de alimentación entre fases, en Volts

fp = Factor de potencia

Como se observa, la corriente puede ser fácilmente determinada conociendo el voltaje y amperaje de alimentación del equipo, pero también la podemos conocer directamente con la ayuda de un medidor (Amperímetro) el valor del factor de potencia se puede suponer de entre los valores 0.85 y 0.90.

6.1.11 Determinación de la eficiencia electromecánica

La eficiencia electromecánica global (conjunto bomba- motor) de los equipos de bombeo instalados en los pozos, se define con la siguiente relación:

$$Efic.Total = \frac{Potencia\ Hidraulica\ Requerida\ por\ el\ sistema}{Potencia\ Electrica\ Suministrada}$$

La potencia hidráulica se determina por:

$$Potencia\ Hidraulica = \frac{Q \times H}{76}$$

Dónde:

Q = Gasto, en Litros por Segundo.

H = Carga de Bombeo, en m.c.a.

76 = Factor de Conversión a HP

Para llevar a cabo la determinación de la eficiencia global del conjunto bomba-motor, es necesario evaluar previamente las pérdidas por fricción en la columna, medir la presión a la descarga, determinar el nivel dinámico así como el gasto.

6.1.12 Determinación de la potencia eléctrica

La potencia eléctrica que se suministra al motor se expresa de la siguiente manera:

Cuando el equipo de bombeo está en operación es necesario medir los voltajes, las corrientes y el factor de potencia con la ayuda de algún instrumento antes mencionados, para posteriormente aplicar la fórmula:

$$P_e = \frac{1.732 \times V \times I \times f_p}{746}$$

Dónde:

P_e = Potencia eléctrica suministrada al motor, en HP

1.732 = Factor para sistemas trifásicos

V = Tensión entre fases, en volts

I = Corriente de fase, en amperes

fp = Factor de potencia, sin unidades

746 = Factor de conversión a HP

6.1.13 Determinación de la eficiencia electromecánica total

Una vez que ya se conocen los valores anteriores se sustituyen en la ecuación general quedando de la siguiente manera:

$$t = \frac{Q \times H}{76 \times P_e}$$

Siendo:

t = Eficiencia total conjunto bomba-motor

Q = Gasto en litros por segundo

H = Carga total de bombeo, en m.c.a

P_e = Potencia eléctrica suministrada al motor, en HP

76 = Factor de conversión a HP

6.2 Eficiencia de Distribución del agua de la Fuente de almacenamiento a la parcela de Riego.

6.2.1 Red de distribución del agua (tuberías).

Son las tuberías que llevan el agua de la unidad de bombeo a tramos de tuberías principales, laterales, hacia los aspersores, estas tuberías se dividen en tuberías principales y secundarias, estas últimas son las que se conocen como laterales. La tubería principal es la que toma el agua de la fuente que le es entregado por la bomba, los laterales toman el agua de la tubería principal, son los que abastecen de agua a los aspersores, que a su vez se encargan de regar el agua en la parcela.

Las líneas “ciegas” o principales; transportan el agua de riego desde la válvula o hidrante, hasta la línea de aspersores, además no tienen salida para los aspersores.

Línea Portátil, Líneas de Aspersores o laterales; sirven para distribuir el agua a los campos de cultivo por medio de los aspersores

Estas líneas principales y secundarias tienen que encontrarse en buen estado (tienen que ser herméticas) para evitar fugas y así llevar a la parcela una buena aplicación del agua y evitar eficiencias bajas.

6.2.2 Evaluación de pérdidas por fricción en la tubería

Para conocer las perdidas por fricción en la columna de bombeo, es necesario hacer uso de la ficha técnica proporcionada por los fabricantes, en la cual aparecen tabuladas las perdidas por fricción para cada diámetro y condiciones de la tubería, y así obtener de forma directa dicho valor.

6.2.2.1 Pérdidas en el sistema.

6.2.2.1.1 Por Rozamiento

Tiene lugar en una conducción de agua por tubería a presión y representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento en la tubería.

6.2.2.1.2 En Accesorios

En el sistema existen pérdidas de energía producidas en codos, reducciones de diámetro, válvulas o llaves, o cualquier obstrucción que encuentre el agua que le impida seguir circulando en línea recta.

6.2.2.1.2.1 Pérdidas de agua por fugas de agua en uniones, accesorios, etc.

Las pérdidas de agua debido a fugas provocan; pérdidas de caudal de suministro, pérdidas de carga lo que hace que la presión no llegue a ciertas áreas, encharcamientos lo que hace que el suelo se sature, dichas fugas son parte del caudal que debería de ser aprovechado para regar y producir áreas mayores de riego. Estas se deben al desgaste, mal acople o simplemente a una mala instalación del sistema.

6.2.3 Caudales del Sistema de Riego

6.2.3.1 Caudal Neto

Depende del régimen de riego del área, el cual será abastecido por el equipo de bombeo, este caudal es el que distribuyen los aspersores. También en operación del sistema se incorpora la variable de fugas en tuberías y accesorios y el caudal neto viene a ser el valor que realmente está utilizando el sistema de riego, pero descontándose las generadas por fugas.

6.2.3.2 Caudal Bruto

Es la suma del caudal neto más las pérdidas producidas por las diferentes causas, este caudal es el que eroga el equipo de bombeo, en sus condiciones de operación y este se contabiliza en un punto de la sarta de la unidad de bombeo, utilizando para tales fines caudalímetros y/o otros dispositivos.

6.2.4 Presión en el Sistema

La presión en el agua es necesaria por dos motivos: la red de distribución se multiplica en proporción a la superficie que debemos regar y teniendo en cuenta que el agua debe llegar al mismo tiempo y a la misma presión a las bocas donde se encuentran instalados los mecanismos de difusión (aspersores) con el fin de conseguir un riego uniforme. La segunda razón es que la presión del agua debe ser capaz de poner en marcha todos los aspersores al mismo tiempo bien sean fijos o móviles, de riego más pulverizado o menos.

En el caso de que la presión de la red no sea suficiente se deberá instalar un motor que dé la presión suficiente desde el depósito hasta los aspersores.

6.3 Evaluación Hidráulica del Sistema de Riego por Aspersión

Las técnicas de evaluación de los sistemas de riego permiten conocer, basándose en las conclusiones obtenidas a través de diversos ensayos de campo, la corrección con que se está realizando el riego; además, si el riego es defectuoso, proporciona los criterios a seguir para corregir las imperfecciones advertidas.

La evaluación del sistema consiste en una prueba en condiciones reales de campo, de cuya correcta elaboración depende, en gran parte, la validez de los resultados obtenidos; que mide la calidad del riego sobre la base del control de los parámetros implicados en la aplicación del agua. Viene definida fundamentalmente a través de medidas de uniformidad y eficiencia, que dan

idea de la extensión de la parcela en que el riego se ha aplicado correctamente. Esta evaluación es la base para la identificación de los problemas que presenta la instalación y de las modificaciones a realizar para mejorar el manejo del sistema y su uniformidad de reparto de agua. A veces las mejoras a introducir pueden ser sencillas, así el funcionamiento de un riego por aspersión puede mejorarse variando: la presión de trabajo, el tamaño y número de boquillas, la duración de la postura de riego, el tipo de aspersor o simplemente cambiando el material desgastado.

6.3.1 Eficiencia de Riego

Es el coeficiente mediante el cual se estiman las pérdidas de agua que se producen durante el riego en la red de distribución (E_d , %) y en la parcela (Eficiencia de aplicación E_a , %) el total de pérdidas h_f es igual al producto de E_d x E_a .

6.3.1.1 Eficiencia de Distribución de Agua

Este término fue introducido por Merrian y Keller en 1978, es la relación, expresada en porcentaje, entre la altura mínima de agua infiltrada a través del terreno, y la altura media aplicada. Este parámetro refleja hasta qué punto el sistema puede trabajar correctamente cuando suministra la cantidad de agua adecuada, además de permitir estimar la magnitud de pérdidas por percolación. Expresa la relación entre el valor mínimo y el valor medio recogido en pluviómetros durante un ensayo de campo. Se considera como valor mínimo la medida de los valores correspondientes a los pluviómetros, (una cuarta parte del total), que menos agua hayan recibido.

Si la cantidad mínima infiltrada coincide con el déficit de humedad del terreno, el exceso, sobre aquella, de las restantes alturas infiltradas percolará por debajo de la zona radicular. El porcentaje que, en relación con el total aplicado, suponen las pérdidas viene expresado por: $(100 - e_d)$.

$$UD(\%) = \frac{\text{altura media de agua recogida en 25\% del \acute{a}rea menos regada}}{\text{Altura media recogida}} \times 100$$

6.3.1.2 Coeficiente de Uniformidad (CU)

El coeficiente de uniformidad es el que permite conocer si el agua de riego se está aplicando de manera uniforme, ya que una baja uniformidad implica la existencia de zonas de suelo con exceso de agua y otras con escasez, o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas.

La uniformidad dependerá también del viento y de las condiciones atmosféricas, por lo que será necesario anotar la temperatura y, aunque sea sólo aproximadamente, la dirección y velocidad del viento, así como el día y la hora en que se realizó la evaluación.

El cálculo del coeficiente de uniformidad se hará en base al criterio de la fórmula de Christiansen (desarrollado en 1942). Es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de aspersión; es el parámetro de uniformidad de uso más generalizado, se expresa en %. siendo esta:

$$CU(\%) = 100 \left(1 - \frac{\sum |L_p - L_m|}{n L_m} \right)$$

Donde:

L_p: lamina parcial.

L_m: lamina media.

n: número de pluviómetros.

6.3.1.2.1 Análisis zonal

Este proviene de la simple determinación del CU de Christiansen; donde a partir de la lluvia recogida en cada recipiente, se procede a diferenciar el área del ensayo, de referencia tres zonas:

1. Zona media, en la cual quedan comprendidos los recipientes que han recibido alturas de agua comprendidos entre el 90% y el 110% de M (precipitación media obtenida a partir de la lluvia recogida en cada recipiente)
2. Zona de exceso, es la cual quedan comprendidos los recipientes que han recibido alturas de agua superiores al 110% de M.
3. Zona de déficit en la cual quedan comprendida los recipientes que han recibido alturas de agua inferiores al 90% de M.

6.3.1.2.2 Normas de uniformidad

Las normas siguientes se refieren al coeficiente de Christiansen y al análisis zonal que se hace después del estudio. Pese a que los requerimientos de uniformidad dependen de la conveniencia de aprovechar el agua adecuadamente y de obtener el rendimiento óptimo de los cultivos, sin embargo pueden establecerse determinados criterios generales de acuerdo con el tipo de cultivo regado. Para ello se considera que cuanto mayor es el sistema radicular del mismo menor son los requerimientos de uniformidad, puesto que la mayor potencia de sus raíces puede, en cierta medida, reducir los efectos desfavorables de un riego defectuoso.

Así mismo las Normas propuestas por la FAO son las siguientes:

Tabla2. Normas de Uniformidad FAO.

Distancia entre plantas (mts)	Zona de déficit inferior al (%)	Zona de exceso inferior al (%)	Coeficiente de Christiansen (%)
0-2	10	10	85
2-4	15	15	80
4-6	20	20	75
>6	25	25	65

Fuente: Máster en Ingeniería de Regadíos CEDEX

6.3.1.3 Coeficiente de Variación o Coeficiente de Hart (CV o CH).

En forma práctica, el coeficiente de Hart (CH) corresponde al coeficiente de variación y que relaciona la desviación estándar con el promedio poblacional. Mientras mayor sea el CH, menos uniforme será el riego que se esté aplicando. Este coeficiente se calcula mediante:

$$CV = \frac{\sigma}{L_m}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (L_p - L_m)^2}{n-1}}$$

Donde:

σ : desviación estándar.

L_m : Lámina media

El CH no debe sobrepasar los valores del 20-25%. Si el CH supera el límite superior, entonces implicaría que existe una alta des uniformidad entre los aspersores dispuestos en el terreno.

6.3.1.4 Eficiencia en la Aplicación del agua de Riego.

La gran competencia de los recursos naturales que ha causado el hombre, tiene como prioridad de sobrevivencia aquellos que se utilizan en la producción de alimentos. Por ello el recurso agua es básico en las zonas con déficit notorio en la época de desarrollo de los cultivos. Básicamente sin agua no hay producción agrícola.

La eficiencia de los riegos, varía según el número de riegos que se hayan efectuado. En general los primeros riegos muestran menor eficiencia en tanto que transcurre la estación de crecimiento. La razón que se sugiere es que a medida que aumenta el número de riegos se produce un alisamiento de las paredes de la superficie por el hecho de circular el agua por la superficie del terreno. Por tanto considerando este último aspecto se podrá decir que la eficiencia del riego depende tanto de las condiciones del suelo y cultivos, como del factor humano, es decir, su experiencia en el manejo del agua para las condiciones específicas.

6.3.1.5 Eficiencia de Aplicación de Agua a la parcela.

La eficiencia de aplicación es la relación, expresada en porcentaje, entre la altura mínima, de agua, retenida en la zona radicular (de donde puede ser tomada por el cultivo) y la altura media total que ha suministrado realmente el sistema.

El grado de afectividad con que se utilizan los aspersores se valora por la relación entre el agua que queda retenida en la zona radicular, a disposición del cultivo, y la cantidad total aplicada. Si el riego es excesivo una parte del agua

aplicada se pierde por percolación y el valor de la eficiencia de aplicación es bajo.

Si el riego es insuficiente solo existen perdidas por evaporación, puesto que no hay pérdidas por percolación, siendo:

$$E_a(\%) = \frac{\text{altura mínima retenida en la zona radicular}}{\text{Altura media aplicada}} \times 100$$

6.3.1.6 Eficiencia de Aplicación de los Aspersores

Es la relación del caudal que llega al suelo entre el caudal que se entregó por los aspersores del sistema de riego, expresado en porcentaje. Esto permite conocer la magnitud del agua perdida durante el proceso de aplicación del riego a la parcela.

$$E_{fa} = \frac{q_s}{q_a} \times 100$$

$$q_s(l/s) = \frac{\left(\frac{h_{media(mm)}}{\text{horas de puesta}} \right) \times E_l \times E_a}{3600 s}$$

Donde:

q_s : caudal que llega al suelo.

q_a : caudal que sale del aspersor.

6.3.1.7 Eficiencia de Almacenamiento

Determina la fracción de agua aplicada almacenada en el suelo, en relación a la necesaria, para llevar a Capacidad de Campo el perfil.

$$E_{alm} = \frac{h_{al}}{h_{cc}}$$

Donde:

E_{alm} : eficiencia de almacenamiento.

h_{al} : agua almacenada den la zona de las raíces al finalizar el riego.

h_{cc} : agua requerida para que el suelo quede a capacidad de campo hasta la profundidad de las raíces.

La ponderación de estas tres eficiencias, aplicación, almacenamiento y uniformidad; determina la eficiencia agronómica o de utilización del agua de riego, cuyo valor debiera optimizarse en condiciones de secano. En consecuencia, la eficiencia de riego es una variable dinámica que depende de los factores antes mencionados, sin contar con el mal manejo por parte del regante, derivados de escasa capacitación o experiencia en el cultivo.

$$E_{Agronomica} = \frac{E_{ap} + E_{alm} + E_{unif}}{3}$$

6.4 Características del Suelo

6.4.1 Propiedades Físicas

6.4.1.1 Textura

Es una de las propiedades más importantes del suelo y que incide en muchas otras características o propiedades de los suelos. En el riego y el drenaje, la textura juega un papel fundamental, en el cálculo de láminas de riego, de lavado, en el proyecto y diseño de sistemas de riego y de drenaje.

La textura se refiere a las proporciones porcentuales de las agrupaciones por tamaños de los granos individuales en una masa de suelo. Se refiere específicamente a los porcentajes de arcilla, del limo y de las arenas de menos de 2 mm de diámetro.

Se han propuesto muchas escalas granulométricas, pero dos de ellas son las más usadas en la edafología: El Sistema Internacional, propuesto por Atterberg, y el sistema usado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.), que en parte es coincidente con el primero, aunque establece más separaciones. Los análisis mecánicos de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se reportan generalmente en ambos sistemas. En nuestro país, se ha extendido el sistema del U.S.D.A. (Véase tabla 3.)

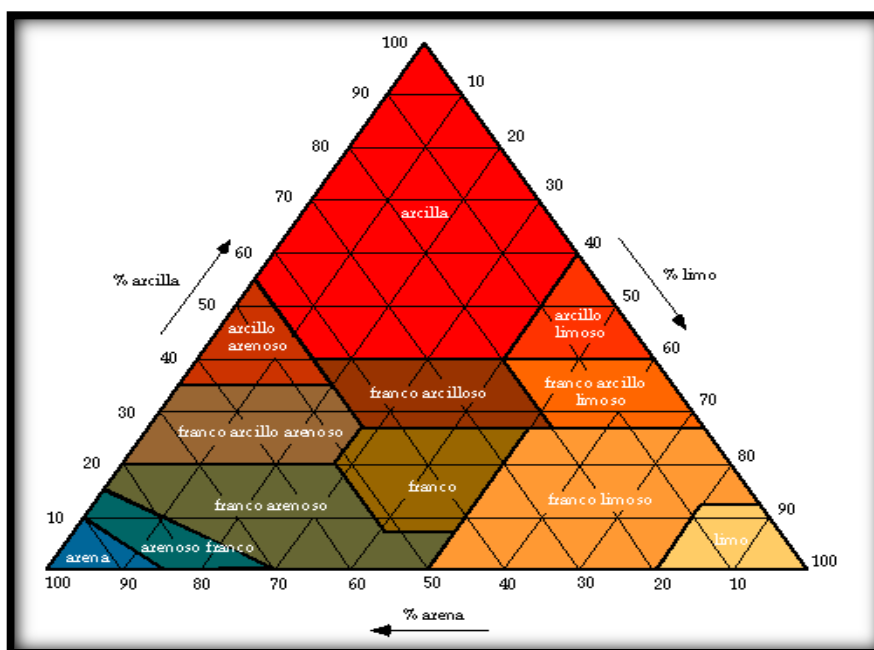
Tabla3. Clasificación de la Textura Según Tamaño de las Partículas.

FRACCIONES	LÍMITES DE LOS DIÁMETROS (mm)	
	SISTEMA USDA	SISTEMA INTERNACIONAL (Atterberg)
ARENA MUY GRUESA	2.0 - 1.0	
ARENA GRUESA	1.0 - 0.5	2.0 - 0.20
ARENA MEDIA	0.5 - 0.25	
ARENA FINA	0.25 - 0.10	0.20 - 0.02
ARENA MUY FINA	0.10 - 0.05	
LIMO	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
ARCILLA	< 0.002	< 0.002

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.)

Rara vez una muestra de suelo estará constituida totalmente por una sola fracción. Por ello, las clases de textura están basadas sobre distintas combinaciones de arena, limo y arcilla. La textura del suelo y las posibles combinaciones de ellas se presentan gráficamente en el triángulo de las texturas, (Véase figura 5) y a su vez en una tabla que relaciona el porcentaje de partículas y el tipo de suelos. (Véase tabla 4)

Figura 5. Triángulo Textural



Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.)

Tabla 4. Clasificación de los Suelos según su Porcentaje de Textura.

CLASIFICACIÓN TEXTURAL	% ARENAS	% LIMO	% ARCILLA	TIPO
ARENAS	85-100	0-18	0-10	LIGERO
ARENA MIGAJON	70-90	0-30	0-15	LIGERO
MIGAJON ARENOSO	52-82	0-48	0-20	LIGERO
MIGAJON ARCILLO ARENOSO	45-80	0-28	20-35	MEDIO
MIGAJON ARCILLO LIMOSO	0-20	20-72	28-40	MEDIO
FRANCO	24-52	28-50	08-28.0	MEDIO
MIGAJON LIMOSO	0-50	50-80	0-28	MEDIO
MIGAJON ARCILLOSO	20-45	15-52	28-40	MEDIO
LIMO	0-20	80-100	0-12	MEDIO
ARCILLA ARENOSA	45-65	0-20	35-55	PESADO
ARCILLA	0-45	0-40	40-100	PESADO
ARCILLA LIMOSA	0-20	40-60	40-60	PESADO

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.)

La textura del suelo puede determinarse en laboratorio y en campo. Para la distribución del tamaño de las partículas en suelos, comúnmente se emplean los Métodos de Bouyoucos y el de la Pipeta, el primero tiene la ventaja de dar resultados razonables parecidos al del método de la pipeta en tiempo razonable, pero ambos se basan en el método de Stokes.

- **Método del Hidrómetro (*Bouyoucos Modificado*):** Permite expresar como porcentaje (%) de peso seco total los diferentes tamaños de partículas que constituyen la fracción de tierra fina del suelo. Se basa en la velocidad de decantación, en un medio acuoso de las partículas de arena, limo y arcilla sobre la base de la ley de Stokes.

6.4.1.2 Estructura

Desde el punto de vista morfológico, es el grado, forma o modo en que las partículas integrantes de un suelo, se asocian entre sí, formando en forma natural grupos unidos sin la intervención del hombre.

Los agregados son unidades secundarias o gránulos de muchas partículas de suelo enlazadas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice. Los agregados naturales se denominan *peds* (granos) y varían su estabilidad en el agua; los *terrones* son masas coherentes de suelo, de cualquier forma, que se han quebrado por un medio artificial como la labranza.








La estructura afecta la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad del suelo y las facilidades de la labranza. (Véase Tabla 5, figura 6.)

6.4.1.2.1 Tipos de Estructura

- a. **Granular:** Relativamente no porosos; agregados pequeños (tamaño menor de 2 cm de diámetro), esferoidales, no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".
- b. **Migajosa:** Relativamente porosos; agregados pequeños y esferoidales no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".
- c. **Laminar.** Agregados similares a placas; las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son menores que sus dimensiones horizontales. Las placas a menudo se superponen e impiden la permeabilidad. Se encuentran generalmente en el horizonte "A2", en suelos de bosques y estratos arcillosos.
- d. **Bloques angulares.** Bloques limitados por otros agregados cuyas caras angulares bien definidas, forman el molde de estos. Los agregados a menudo se rompen en bloques más pequeños. Se localiza generalmente en el horizonte "B".
- e. **Bloques subangulares.** Gránulos similares a bloques limitados por otros agregados, cuyas caras angulares redondeadas forman el molde del gránulo. Se localiza generalmente en el horizonte "B".
- f. **Prismática.** Agregados similares a columnas con las partes superiores no redondeadas. Otros agregados forman el molde del ped. Algunos agregados prismáticos se rompen en ped de bloques más pequeños. Se localiza generalmente en el horizonte "B".

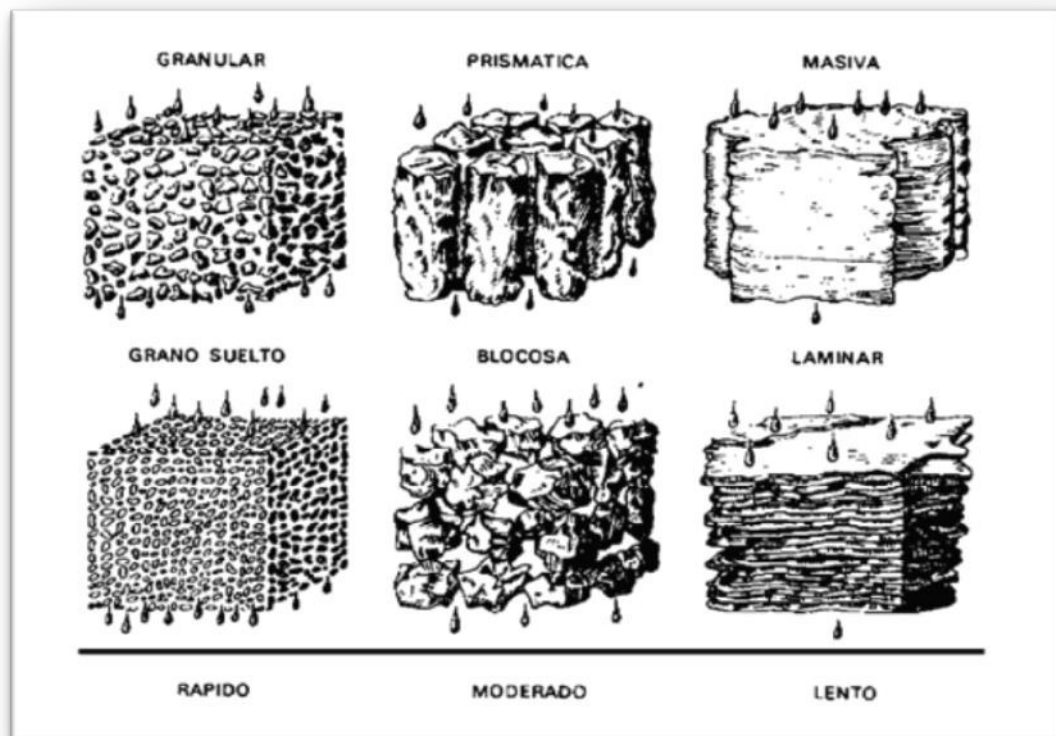
- g. Columnar.** Se caracteriza porque las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son mayores que sus dimensiones horizontales. Las columnas están separadas por grietas verticales y generalmente quebradas por grietas horizontales. Las cabezas de las columnas son redondeadas y se encuentran muy a menudo en el horizonte "B" en suelos alcalinos (sódicos).

Tabla 5. Relación de la Estructura del Suelo con la Infiltración.

TIPO	APRECIACIÓN	INFILTRACIÓN
GRANULAR		RÁPIDA
MIGAJOSA		RÁPIDA
LAMINAR		LENTA
BLOQUES ANGULARES		LENTA
BLOQUES SUBANGULARES		MODERADA
PRISMÁTICA		MODERADA
COLUMNAR		MODERADA

FUENTE: Apuntes de riego y drenaje, propiedades físicas del suelo. Dr. Rodolfo Cisneros Almazán, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (México)

Figura 6. Comportamiento de la Infiltración Según la Estructura del Suelo.



FUENTE: Apuntes de Riego y Drenaje, Propiedades Físicas del Suelo. Dr. Rodolfo Cisneros Almazán, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

6.4.1.3 Densidad Aparente

La densidad aparente de un suelo, se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Usualmente se expresa en gr/cm³. Para fines prácticos, conceptualmente esto es lo mismo que la gravedad específica, peso específico o peso volumétrico.

$$D_a = P_{ss} \times V_t$$

Dónde:

Da = Densidad aparente (gr/cm³)

Pss = Peso del suelo seco (gr)

Vt = Volumen total (cm³)

Los valores de la densidad aparente varían en función de las propiedades de los suelos fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Sin embargo como valores medios se tienen los siguientes:

- Arenas 1.4 - 1.6 gr/cm³
- Francos 1.3 gr/cm³
- Arcillas 1.1 gr/cm³
- Suelos orgánicos 0.7 gr/cm³

La determinación de la densidad aparente puede hacerse por diferentes métodos; con muestras alteradas e inalteradas. Entre ellos se pueden mencionar:

- a) Método de campo utilizando plástico.
- b) Utilizando barrenas o cilindros de volumen conocido (método de campo).
- c) Método del terrón o parafina (método de laboratorio).
- d) Método del petróleo (método de laboratorio).

En la clasificación de suelo la densidad aparente es asimismo un dato muy valioso, se emplea para la detección de:

- Capas endurecidas (densidades mayores de 2.0 g/ml) las cuales provocan problemas de desarrollo radicular de los cultivos
- Presencia de amorfos, como el alófano (densidades menores a 0.85 g/ml) que comúnmente está relacionado a problemas de la fertilización.

La densidad aparente también varía según la textura del suelo y los contenidos de materia orgánica. El aumento de la densidad aparente se traduce en compactación de los suelos y resistencia mecánica al enraizamiento. Suelos de texturas arenosas presentan densidades aparentes de hasta 1,6 g/cm³ y suelos de texturas arcillosos presentan valores hasta de 1,2 g/cm³.

6.4.1.4 Densidad Real

La densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p). Usualmente se expresa en gr/cm^3 .

$$D_r = \frac{P_{ss}}{V_p}$$

Dónde:

D_r = densidad real (gr/cm^3)

P_{ss} = peso del suelo seco (gr)

V_p = volumen de las partículas (cm^3)

La densidad real se puede considerar casi constante debido a que varía de 2.60 a 2.75 gr/cm^3

6.4.1.5 Porosidad

La porosidad se define como el porcentaje del volumen total de suelo que está ocupado por los poros:

$$P_t = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

Donde:

P_t = porosidad, %

V_v = volumen de vacíos, cm^3

V_t = volumen total, cm^3

El espacio poroso es la porción de suelo no ocupado por partículas sólidas (minerales u orgánicas). Los espacios porosos están ocupados por aire y agua. El arreglo de las partículas sólidas del suelo determina la cantidad de espacio poroso. La relación de la textura con la porosidad es alta en suelos arenosos, se tienen poros grandes y continuos, en suelos arcillosos, se tienen poros muy pequeños pero más abundantes, por lo mismo, los suelos arcillosos tienen una mayor porosidad total.

En suelos arcillosos el escaso intercambio de aire puede ser inadecuado para las raíces de las plantas. El movimiento más rápido de agua y de aire está en las arenas y suelos de agregados fuertes, cuyos agregados actúan como granos y paquetes para formar poros grandes.

Los poros pueden dividirse en cuatro grupos de acuerdo al tamaño: macro poros (0.2 mm), poros medios (0.2 a 0.02 mm), poros finos (0.02 a 0.002 mm), poros muy finos (menores a 2 micrones).

Para el crecimiento adecuado de las plantas es más importante el tamaño de los poros que el espacio poroso total, esto es, debido al tamaño de raíces (8 a 12 micrones) las cuales en poros grandes se desarrollarán mejor.

El mejor balance de retención de agua (micro poros) más el adecuado movimiento de aire y agua (macro poros) está en suelos de textura media como los francos.

Los valores de la porosidad fluctúan alrededor de los porcentajes siguientes:

30% para las arenas

50% para las texturas francas

65% para las arcillas.

El porcentaje de volumen de un suelo ocupado por los poros puede ser calculado por:

$$V_V(\% \text{ espacio poroso}) = V_m(100\% \text{ Vol. de la muestra}) - V_s(\% \text{ espacio sólido})$$

6.4.2 Propiedades Hidrofísicas

6.4.2.1 Capacidad de Campo

Es el contenido hídrico después de que se haya vuelto muy lento el escurrimiento del agua gravitacional y relativamente estable el contenido hídrico. La situación existe generalmente de 1 a 3 días después de que el suelo haya sido totalmente mojado por la lluvia o el riego. La fuerza de retención es de aproximadamente $1/3$ de atmósfera. En esta situación las plantas absorben agua sin dificultad, superando con su fuerza de succión las fuerzas con que la humedad es retenida en el suelo. Este tipo de humedad se conoce como agua o capacidad de campo. El agua retenida en los micros poros y en la superficie de las partículas por potenciales de presión, incluyendo capilaridad, se considera agua biológicamente útil que las plantas pueden absorber con poco esfuerzo. De acuerdo a la clase textural a la cual pertenece un determinado suelo se puede considerar los siguientes rangos admisibles de capacidad de campo, que se presentan en Tabla 6 y se muestran a continuación:

Tabla6. % de Capacidad de Campo Según Textura.

Clase Textural	Capacidad de campo %
Arenoso	2.5 - 7.5
Franco Arenoso	7.5 - 20.5
Franco Limoso	20.5 - 33.0
Arcilloso	33.0 - 50.0

FUENTE: Blair. E. Manual de Riegos y Avenidas

6.4.2.1.1 Métodos para Determinar la Capacidad de Campo

- Método de campo o gravimétrico.
- Método de la olla de presión.
- Método de la textura
- Método de la humedad equivalente.

6.4.2.2 Límite Productivo

Es un nivel superior al mínimo de absorción o punto de marchitez permanente, que determina un rango óptimo de humedad para que un cultivo asegure los máximos rendimientos. El límite productivo puede ser variable para diferentes especies vegetales y es el nivel mínimo permisible para efectuar el riego. Aunque no es la cantidad de agua existente, sino el estado energético, lo que se toma como criterio concluyente para fijar el momento del riego, para su uso práctico es común expresar el límite productivo como un nivel de humedad, como tanto por ciento de la capacidad de campo.

6.4.2.3 Punto de Marchitez Permanente (P.M.P)

Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. También el Punto de Marchitez Permanente depende de la especie vegetal, de la cantidad de agua utilizada por los cultivos, profundidad de raíces, de la capacidad de retención del suelo, en términos de tipo de agua el Punto de Marchitez Permanente representa al agua no disponible, es decir, agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento.

6.4.2.4 Humedad Aprovechable

La diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente es lo que se define como humedad aprovechable por las plantas. Si se considera que a capacidad de campo la humedad aprovechable es de 100% a punto de marchitez permanente será de 0%, entonces la lámina máxima que se puede aplicar a un suelo a una profundidad P_r , sin desperdiciar agua será:

$$L_r = (P_{scc} - P_{spmp}) \times D_a \times P_r \times 100$$

Dónde:

Lr = lámina de retención máxima (cm)

Psc = porcentaje de humedad a capacidad de campo (%)

Pspmp = porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente (%)

Da = densidad aparente (adimensional)

Pr = profundidad de enraizamiento (cm)

6.4.2.4.1 Porcentaje de Humedad en el Suelo

El porcentaje de humedad del suelo a saturación, se puede definir como el contenido de humedad de un suelo inmediatamente después de un riego o precipitación fuerte y antes de haber drenado el agua en exceso por acción de la gravedad.

La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de éste (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión y estabilidad mecánica.

El cálculo de humedecimiento de suelo está dado por la fórmula:

$$\% W = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

Donde:

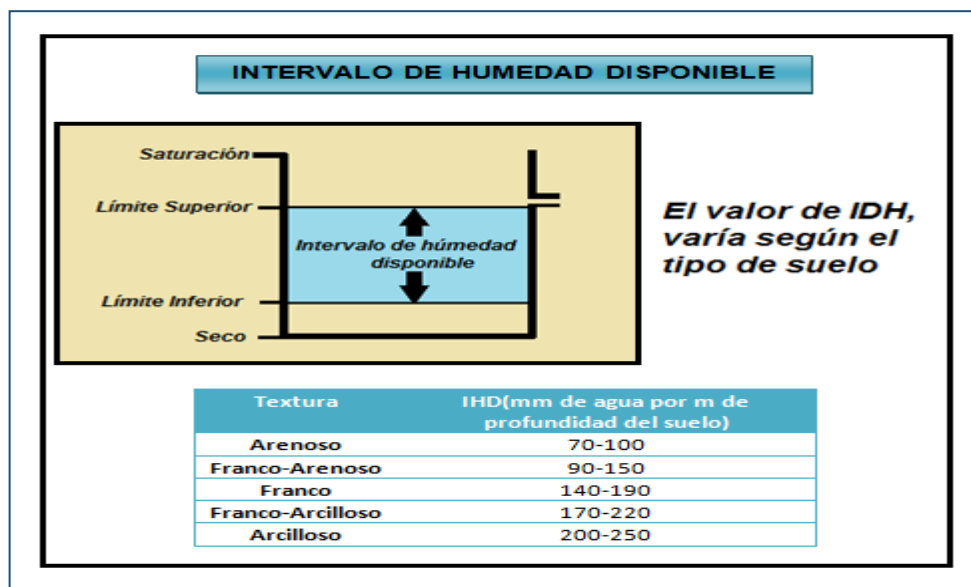
Mh = Peso recipiente más la muestra de suelo húmedo (grs.)

Ms = Peso recipiente más la muestra de suelo seco (grs.)

Mr = Peso recipiente (grs.)

La Figura 7. Presenta intervalos de humedad disponible (IDH), que en el caso del presente estudio se calcula con la Formula descrita anteriormente.

Figura 7. Intervalos de Humedad Disponible Según Textura.



Fuente: El Agua del Suelo en Relación con el Riego, el Riego.com

6.4.2.5 Velocidad de Infiltración

La velocidad de infiltración se puede definir como la entrada vertical del flujo del agua, de la superficie hacia el interior del suelo, en la unidad de tiempo, se puede decir que es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo; los valores están dados en cm/hr o cm/min

6.4.2.5.1 Curva de Velocidad de Infiltración

Son la representación gráfica del proceso de infiltración del agua a través de la superficie del terreno. Los ensayos que sirven de base pueden realizarse utilizando cilindros de infiltración.

Relaciona la velocidad instantánea de infiltración con el tiempo transcurrido desde el comienzo del ensayo. Puesto que la función que liga a ambas variables es del tipo:

$$I = a \times T^b$$

Donde:

I: Infiltración en mm/hr

T: Tiempo en min

6.4.2.5.2 Curva de Altura de Agua Infiltrada

Expresa la altura de agua infiltrada, desde el comienzo del ensayo, en función del tiempo transcurrido. La función que liga a ambas variables es del tipo:

$$A = \frac{a}{60(b + 1)} \times T^{b+1}$$

Por lo que también viene representada por una línea recta donde se utilizan coordenadas logarítmicas.

Ortiz y Ortiz (1980), mencionan que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

1. **Textura:** Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
2. **Estructura.** Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
3. **Cantidad de materia orgánica:** Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
4. **Profundidad del suelo:** A una capa endurecida “hardpan”, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
5. **Cantidad de agua en el suelo:** En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
6. **Temperatura del suelo:** Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.

7. Cantidad de organismos vivos. A mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación.

A continuación se presenta tabla orientativa de clasificación de infiltración, magnitud y sus Características.

Tabla7. Clasificación de la Magnitud de Infiltración.

Clasificación	Magnitud (cm/hr)	Características
MUY LENTA	< 0.25	Suelos con un alto contenido de arcilla.
LENTA	0.25 - 1.75	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.
MEDIA	1.75 - 2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos.
RAPIDA	> 2.50	Suelos arenosos o migajones limosos profundos y de buena agregación.

Fuente: Apuntes de Riego Universidad Autónoma de San Luis Potosí México.

La determinación de la infiltración puede efectuarse en el campo, o siguiendo algunos de los métodos de laboratorio sobre muestras alteradas y/o inalteradas. Dentro de los métodos de campo existentes, uno de los más comunes por su facilidad es el método del infiltrómetro de doble cilindro. Otro método es el método de entradas y salidas (en surcos).

6.4.2.5.3 Método de Infiltrómetros de Doble Cilindro

El método más ampliamente usado para determinar la infiltración de un suelo es el del cilindro infiltrómetro, el cual es adecuado para métodos de riego que permiten mojar directamente una gran superficie de suelo (bordes, regueros en contorno, aspersión). El flujo radial es minimizado por medio de un área tampón alrededor del cilindro central. El movimiento del agua es en dirección vertical hasta que pasa a la parte inferior de la orilla del cilindro, desde donde puede producirse un flujo bidimensional, gobernado por el potencial matricial del suelo. La limitación más seria para el uso de cilindros infiltrómetros es que su emplazamiento en el suelo provoca un cierto grado de alteración de sus condiciones naturales (destrucción de la estructura o compactación produciendo cierta variación en la cantidad de agua que penetra en el suelo. Además, la interface entre el suelo y el lado del cilindro metálico puede causar una entrada anormal de agua, resultando un mayor volumen de agua que se infiltra en un tiempo dado.

Otra de las limitaciones que presenta el uso de cilindros es el problema del aire atrapado al interior de la columna de suelo. La incapacidad del aire para escapar desde el suelo bajo condiciones de flujo saturado, generalmente crea un cojín interno de aire que resulta en un impedimento para el movimiento vertical del agua, resultando velocidades de infiltración menores. Es importante hacer notar que no es conveniente medir la velocidad de infiltración en suelos alterados, como sería un terreno arado por ejemplo.

6.4.2.5.4 Ecuación de Kostiakov-Lewis para calcular y ajustar la Curva de Infiltración

Esta dada para conocer la velocidad de infiltración en un punto.

$$I = (K)(t)^n$$

Donde,

I: Velocidad de Infiltración,[cm / hr].

K: Parámetro que representa la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial (cuando $t = 1$),[adimensional].

t: Tiempo,[min].

n: Parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo ($-1.0 < n < 0$), [adimensional].

Para obtener los coeficientes k y n del modelo de Kostiakov-Lewis, se pueden utilizar diversos métodos: el método de regresión lineal simple, el método gráfico o el método de los promedios. Por ser el más preciso, se utiliza más el método de regresión lineal simple.

Finalmente con el modelo obtenido de Kostiakov-Lewis, se puede calcular la velocidad de infiltración en un tiempo determinado y obtenerse valores ajustados.

6.4.2.6 Profundidad Radicular

La profundidad del sistema radicular del cultivo determinará el horizonte de la capa activa y, por ende, el volumen de suelo que deberá retener el agua. Al aumentar este perfil, aumentará la parte efectiva de las precipitaciones.

En las plantas el 40 % del agua extraída se absorbe en el primer cuarto de profundidad y en el segundo cuarto el 30%, de forma que un 70 % del agua absorbida se extrae en la mitad más superficial de la zona radicular. El agua se agota con mayor rapidez en las capas más superficiales, cuando se agota ésta la planta extrae el agua de capas más profundas, para ello necesita desarrollar su sistema radicular. Conviene, en consecuencia, reponer el agua absorbida en la zona superficial que es donde el sistema radicular alcanza mayor desarrollo y donde mayor es la extracción. En la práctica numerosos autores, consideran una profundidad de 30-50 cm cuando se dan riegos por aspersión.

6.5 Necesidades de Agua del Cultivo

6.5.1 Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo

La evapotranspiración es afectada por varios elementos climáticos: uno es la radiación solar, que aporta la energía para el paso de líquido a vapor; otros son la temperatura y la humedad relativa, que determinan la capacidad de la atmósfera para aceptar el vapor producido. También incide en la evapotranspiración el viento, que desplaza el vapor que se acumula en las hojas o follaje.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año.

6.5.2 Evapotranspiración de Referencia

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición.

.

La ETo se puede calcular utilizando datos meteorológicos. Como resultado de una consulta de expertos realizada en mayo de 1990, el método de FAO Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia. El método de FAO

Penman-Monteith requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento

6.5.3 Coeficiente k_c del Cultivo

Es un coeficiente empírico variable, comprende diferentes factores no analizados y definidos por las estadísticas.

Los valores que inciden en el valor del coeficiente del cultivo, k_c , son principalmente las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del periodo vegetativo, las condiciones climáticas, especialmente durante la primera fase de crecimiento y la frecuencia de las lluvias o del riego.

Obteniéndose de todo esto una curva de coeficientes para cada cultivo de las zonas. De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo, se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o y el coeficiente del cultivo K_c :

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

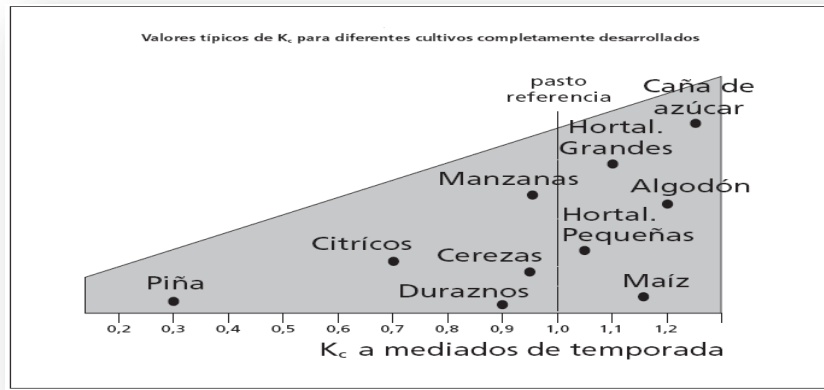
Donde:

ET_c : evapotranspiración del cultivo [mm d-1],

K_c : coeficiente del cultivo [adimensional],

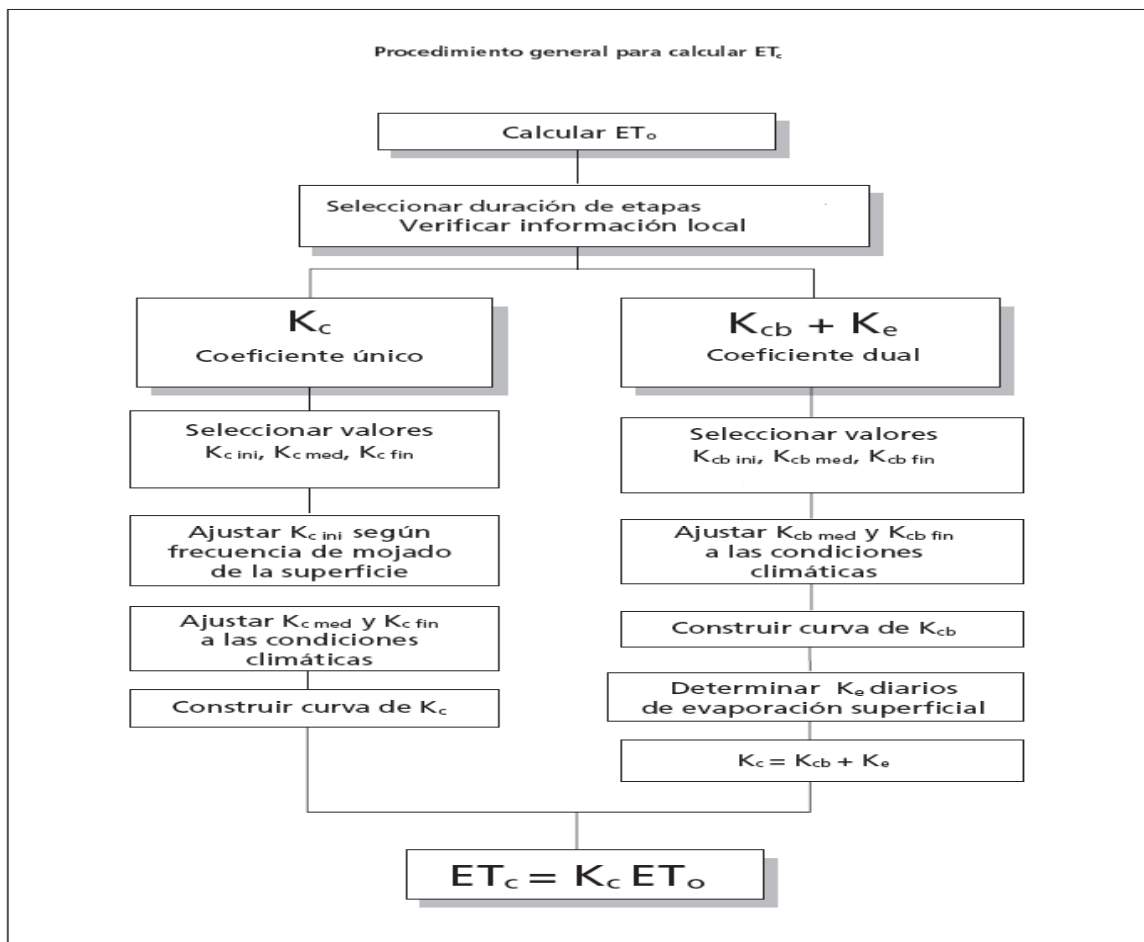
ET_o : evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d-1].

Figura 8. Valores Típicos del K_c para diferentes cultivos.



FUENTE: Evapotranspiración del Cultivo, estudio FAO Riego y Drenaje 56.

Figura 9. Esquema General para calcular la ET_c



Fuente: Evapotranspiración del Cultivo, Estudio FAO Riego y Drenaje 56.

6.6 El Riego por Aspersión

Con este método el agua se aplica al suelo en forma de lluvia utilizando unos dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan un chorro de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos a través de una red de tuberías cuya complejidad y longitud depende de la dimensión y la configuración de la parcela a regar. Por lo tanto una de las características fundamentales de este sistema es que es preciso dotar al agua de presión a la entrada en la parcela de riego por medio de un sistema de bombeo. La disposición de los aspersores se realiza de forma que se moje toda la superficie del suelo, de la forma más homogénea posible. Los efectos climáticos son de importancia crucial para el proyecto y manejo de este sistema de riego.

6.6.1 Elementos que integran un Sistema de Riego por Aspersión

Para un mejor aprovechamiento del agua por medio de un sistema de riego tradicional de riego por aspersión se deben considerar las siguientes unidades básicas:

- Fuente de suministro, pudiendo ser: río, agua subterránea, reservorio.
- Canales de suministro principales
- Disipadores de energía en canales, si fuesen necesarios
- Saltos, Estructuras de aforos
- Sedimentadores
- Canales de drenaje
- Red vial
- Reguladores diarios
- Casa hacienda
- Tuberías
- Empaques

- Accesorios
- Aspersores
- Unidad de bombeo (bomba +motor)
- Obras de captación para unidades de bombeo
- Bodegas
- Fuente de suministro de energía
- Mano de obra.

Resulta imperante el saber la forma en que cada una de ellas interviene en el campo para el funcionamiento óptimo del sistema de riego, partiendo de la condicionante de que el ingeniero de campo tenga los conocimientos de su existencia y de la forma a recomendarse en su uso por los trabajadores.

6.6.1.1 Aspersores

Los aspersores son los elementos de la instalación de riego por aspersión encargados de distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo. Son elementos provistos de una o más boquillas montadas sobre un cuerpo central por las que sale el agua a presión. El movimiento del aspersor es provocado por la presión del agua que, al salir, se dispersa en forma de gotas mojando una superficie más o menos circular, cuyo alcance depende de la presión del agua y del tipo de aspersor.

La distribución del agua sobre la superficie regada por un aspersor no es uniforme, por lo que para conseguir la mayor uniformidad posible han de disponerse los aspersores lo suficientemente próximos entre sí de tal forma que se produzca un solape entre ellos.

6.6.1.2 Accesorios

En un sistema de riego por aspersión, tiene que estar integrado con una gran cantidad de elementos adicionales que constituyen los accesorios, tales como Codos giratorios, codos en línea, abrazaderas y ganchos, acoples simples y dobles, codos reversibles, elevadores, soportes, tapón final, codos y válvulas, la mayoría de ellos se detallan en la siguiente figura:

Figura 10. Accesorios para Riego por Aspersión.



Fuente: Componentes del Sistema de Riego por Aspersión, Ing. José Pinto Villanueva.

6.7 Características del Sistema

6.7.1 Espaciamiento entre Aspersores y entre Laterales

El espaciamiento entre aspersores y líneas, está en función de la velocidad de infiltración básica del suelo, diámetro de humedecimiento del aspersor, velocidad del viento y a las distintas disposiciones existentes (cuadrada, triangular o rectangular), tomando en cuenta que la precipitación debe ser menor a la velocidad de infiltración básica.

A continuación se presenta un cuadro que señala los valores máximos de espaciamiento y se describe como un porcentaje del diámetro de humedecimiento. Estas tablas deben ser tomadas como referenciales para el espaciamiento entre aspersores y entre líneas. Si se opta por escoger el espaciamiento antes que el tipo de aspersor, deberá de comprobarse obligatoriamente la precipitación que se va a producir y compararla con la velocidad de infiltración básica.

Estos límites en el espaciamiento se hacen para lograr los traslapes que son necesarios en este tipo de riego.

Tabla 8. Espaciamiento entre Aspersores y Laterales.

Velocidad del Viento	Espaciamiento en % del diámetro de Humedecimiento		
	En Cuadro	En rectángulo	
	Ea = El	Ea	El
Sin Viento	65%	65%	65%
Hasta 6 Km/hr (1.67 m/s)	60%	50%	65%
Hasta 12 Km/hr (3.33m/s)	50%	40%	60%
Hasta 15 Km/hr (4.17m/s)	40%	40%	50%
>a 5 Km/hr (4.17 m/s)	30%	30%	40%

Fuente: El riego por Aspersión y su Tecnología José María Tajuelo.

Donde:

Ea= Espaciamiento entre aspersores.

El= Espaciamiento entre laterales.

D= Diámetro de humedecimiento.

6.7.2 Tiempo de puesta de riego

El tiempo de aplicación está dado por la relación que existe entre la lámina real y la pluviometría del aspersor:

$$Ta = \frac{Lr}{Pp}$$

Donde:

Ta = Tiempo de aplicación (horas)

Lr= Lámina de Riego (mm)

Pp = Precipitación Promedio (mm/hr)

6.7.3 Frecuencia de riego

La frecuencia de riego se define como el lapso que transcurre entre dos riegos sucesivos. El tiempo entre un riego y otro variará con la edad del cultivo, de acuerdo con el grado de humedad del suelo y las condiciones climáticas. Durante las fases iniciales (germinación y emergencia), los riegos deben ser cortos pero frecuentes, debido al escaso desarrollo radical y a la rápida evaporación de la superficie. A medida que las raíces profundizan, la frecuencia se reduce pero los volúmenes aplicados aumentan. Cuando los intervalos son cortos, las raíces se desarrollan superficialmente; cuando son largos, estas profundizan más debido a que tienden a dirigirse hacia las zonas de mayor humedad.

6.7.4 Radios de Humedad y Velocidad del Viento

El radio de alcance es la distancia que recorre el chorro principal, medido desde la base del aspersor, con el equipo detenido y a cero vientos (viento mínimo).

VII DISEÑO METODOLOGICO

7.1 Georeferenciación de la Zona de Evaluación.

Con ayuda de un GPS Marca: Trimble, Modelo: Pro XH y los Software especializado: Arc GIS, Google Earth, AutoCAD y una Cinta métrica de 30 mts. Se realizaron lecturas haciendo uso del GPS en puntos limitantes del área total del Centro de Investigaciones INTA, y posteriormente la red hidráulica que conforma el Sistema de riego del mismo. Para proceder a la digitalización, análisis, interpretación y edición de los datos obtenidos. (Véase Anexo 4).

7.1.1 Localización de la Zona de Estudio.

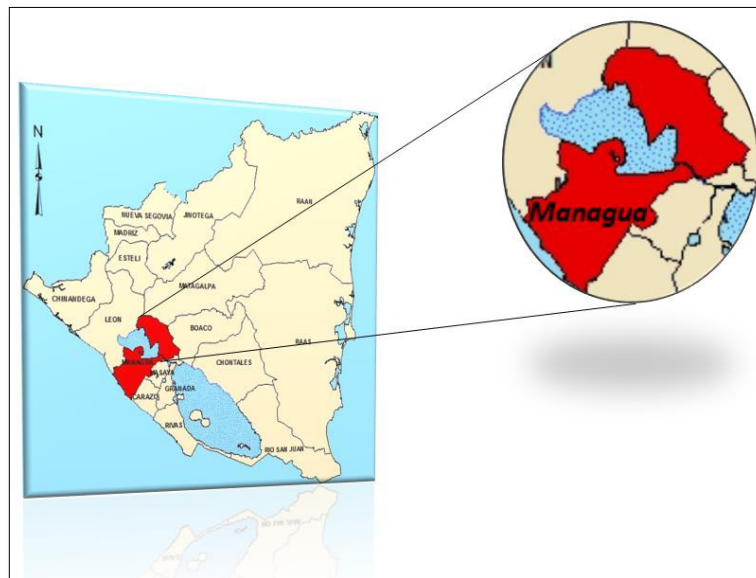
7.1.1.1 Macrolocalización

El departamento de Managua está ubicado al suroeste de Nicaragua, entre los 11° 45' y 12° 40' latitud Norte y los 85° 50' a 86° 35' longitud Oeste.

Sus límites son: al norte con los departamentos de Matagalpa y León, al sur con el Océano Pacífico y Carazo, al este con Boaco, Granada y Masaya y al oeste con el departamento de León. (Véase figura 11.)

Se encuentra a una altitud media de 56 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).

Figura 11. Macrolocalización

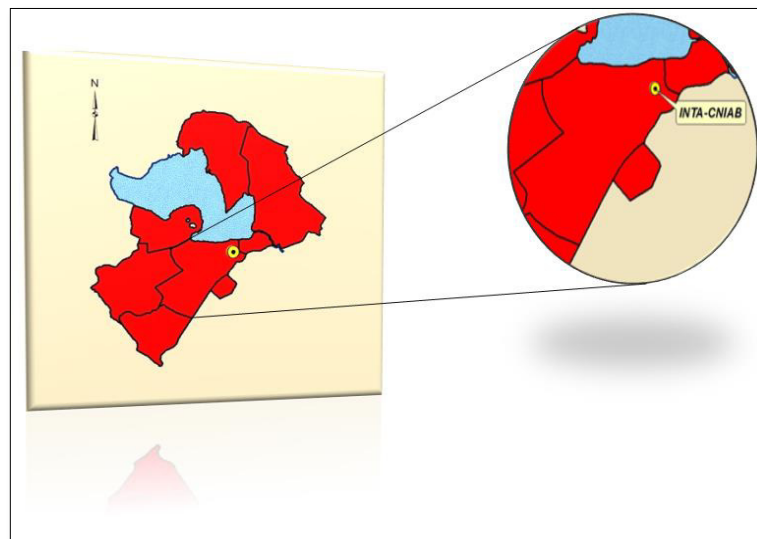


Fuente: Propia

7.1.1.2 Microlocalización

El Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB), está ubicado en el Municipio de Managua, situada entre los Meridianos 86° 40' y 86° 16' Longitud oeste y los paralelos 12° 7' y 110° 43' latitud norte, en el distrito VI de la ciudad, sobre el km 14 ½ de la Carretera Norte, y 2 Km al Sur. Posee un área para realización de experimentos de aproximadamente 53.47 hectáreas actualmente, de las cuales 35 son beneficiadas por un sistema de Riego por Aspersión. (Véase figura 12.)

Figura 12. Microlocalización



Fuente: Propia.

7.1.2 Vías de Acceso

La principal vía de acceso al centro experimental, es la Carretera Panamericana, a la altura del kilómetro 14 ½, la entrada principal se encuentra ubicada a dos kilómetros hacia el sur de este punto. (Véase figura 13.)

Figura 13. Vías de Acceso



Fuente: Propia.

7.2 Evaluación del Equipo de Bombeo

Para llevar a cabo la evaluación es necesario ejecutar una inspección en el sitio donde está ubicado el equipo de bombeo y así asegurar las condiciones de trabajo.

Con el sistema en marcha se realiza un estudio eléctrico; donde se medirán con un voltiamperímetro las líneas eléctricas que nos darán a conocer la Intensidad, voltaje y factor de potencia con el que se está trabajando. Así mismo paralelamente se tomarán datos de importancia como presión y volumen (lectura

de caudalímetro acumulativa), para la prueba el agua fluirá a descarga libre por los hidrantes, tal y como se encuentra para conocer el punto de operación que se utiliza en el INTA. Luego se apagará la bomba. De tal manera que se pueda obtener resultados para interpretar la curva de CTD- Q.

Conocidos estos parámetros se calcula la eficiencia de la bomba, del motor y del conjunto mismo, lo que ayuda a dictaminar el estado de los mismos.

7.3 Perdidas en la distribución del agua que va de la Fuente de Almacenamiento a la Parcela

Para evaluar la distribución del agua es necesario, conocer el caudal de salida en la descarga de la bomba, es necesario medir y/o aforar el equipo de Bombeo, (según las condiciones en el sitio), así mismo se debe de conocer la cantidad de aspersores que están trabajando simultáneamente y aforar; aspersores y fugas que se encuentran en el sistema, por el método volumétrico, para así homologar el caudal de operación de la institución y conocer el porcentaje de pérdidas que provocan el bajo rendimiento de la producción.

Otro parámetro de importancia es la medida de las presiones, tanto del equipo de Bombeo como el de los aspersores; este se realiza con un manómetro de glicerina acoplado a un tubo de pitot, que permite conocer el descenso de las líneas piezométricas y los puntos críticos del sistema.

7.4 Eficiencias de Distribución y aplicación del agua de riego.

7.4.1 Uniformidad de Distribución, metodología

Para evaluar la uniformidad de un sistema de riego por aspersión se elige una zona representativa del sistema en cuanto a: pendiente del suelo, características de los aspersores, marco de riego, número de boquillas y diámetro. También debe tener una presión cercana a la media (lo que ocurre a un tercio del inicio de los ramales de aspersión si existe pendiente o es reducida)

o a la mínima (lo que se produce al final de los ramales si la pendiente es nula o ascendente).

Se debe dejar que el sistema riegue por unos 20 minutos o una hora en promedio para estabilizarlo. Las latas o pluviómetros deben de estar numeradas y cubiertas con una capa fina de aceite negro para minimizar las pérdidas por evaporación en el tiempo de duración de la evaluación respectiva, con una película de aproximadamente 1mm de espesor.

Luego se coloca la red de recipientes, todos con un mismo volumen sobre el suelo, formando una malla de aproximadamente 3 x 3 metros, 1.5 metros de altura del aspersor, y en el orden de la numeración de cada lata. (Véase Anexo 4).

Se debe dejar que los recipientes recolecten el agua como mínimo unos 60 minutos. Cuando finaliza la evaluación, se dejará de regar y se medirá el volumen recogido en cada vaso con ayuda de una probeta. Con los volúmenes recogidos se obtendrán:

- Desviación de la lámina de agua aplicada con respecto a la lámina media aplicada.
- Lámina media aplicada.
- Lámina Aplicada en cada pluviómetro.

Basándose en la metodología de Christiansen, el cual consiste en un método estadístico básico que calcula la cantidad de zonas con déficit y exceso con respecto a la media aritmética. Se procede al cálculo de los parámetros: Uniformidad de Distribución, Eficiencia de Aplicación y coeficiente de variación

7.5 Evaluación Agronómica

7.5.1 Humedad.

Para esta prueba es necesario conocer el porcentaje de humedad presente en el suelo, y así conocer las láminas de agua tanto después de un riego como la de reposición a partir de la Capacidad de Campo.

Es necesario realizar una calicata con dimensiones de 60 cm de largo, 40cm de ancho y 60 cm de profundidad. Tomando una muestra representativa a cada 20 cm para recolectar las muestras húmedas y luego pesarlas en recipientes ya tarados, obteniendo el peso húmedo por muestra, luego se colocara el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$. Transcurrido dicho tiempo, se toma nuevamente el peso de la muestra obteniendo ahora un peso seco y con los datos obtenidos se puede calcular el % de humedad de las muestras, con este dato las láminas respectivas a evaluar.

Los parámetros como: La Capacidad de Campo, se obtiene mediante el método de olla de presión; La Densidad Aparente, por el método de hidrómetro de Bouyoucos y el tipo de Suelo se determina por el porcentaje de partículas, las cuales se efectúan en el laboratorio competente para tales fines.

7.5.2 Velocidad de Infiltración

El método que se desarrolla para conocer la cantidad de agua que se infiltra en el suelo en la unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es el de infiltrómetros de doble cilindros en conjunto con modelos estadísticos que permiten relacionar resultados entre el tiempo de riego y lámina infiltrada, y así llegar a conocer la infiltración básica del agua en el suelo.

Para la realización de la prueba es necesario usar tres juegos de dos cilindros concéntricos los cuales se identificarán como A, B y C, y serán ubicados entre surcos, en un sitio característico del área de estudio, donde cada juego de cilindros represente los vértices de un triángulo equilátero de 5 m cada lado.(Véase Anexo 10) las dimensiones son de 40 cm de alto y 30 y 45 cm de

diámetro respectivamente, los cilindros se introdujeron en el suelo con un martillo pesado a una profundidad de 10cm desde la superficie del suelo asegurándose que quedaran a nivel.

Instalados los cilindros, se llena de agua el anillo exterior, cubriendo posteriormente el anillo interior con un plástico lo más adherido posible a las paredes para verter agua y medir el tirante de agua descendida con ayuda de una regla milimetrada. La prueba inició quitando el plástico rápidamente, tomando anotaciones del tirante y del tiempo a intervalos de 5, 10, 20, 30, 45 y 60 minutos, respectivamente. Se deja bajar el nivel del agua hasta una altura de 5 cm, agregando agua cada vez que ocurriera este evento (al tiempo que se tarda en el relleno del cilindro se le denominó tiempo muerto).

El colocar los cilindros en forma triangular permite registrar datos realizados el mismo día y al mismo tiempo y así poder descartar algún juego de cilindros cuyos valores se alejen demasiado del resto, ya sea debido a la presencia en profundidad de piedras y pequeñas grietas u algún otro medio físico del suelo que altere su homogeneidad.

Se procesan los datos en el ambiente de Office Excel, y se calcula la velocidad de Infiltración media en cada juego de cilindros con el método de Kostiaikov Lewis, de tal manera que por medio de tablas de resultados que relacionan el tiempo que tarda en infiltrarse la lámina de agua necesaria para llevar a capacidad de campo al suelo. (Véase Anexo 10).

7.5.3 Profundidad Radicular

Se realiza esta prueba con el fin de conocer a que profundidad se encuentra el mayor porcentaje de raíces de los cultivos establecidos en los lotes de evaluación de la institución con la lámina de agua con la que opera el sistema, La metodología utilizada fue la de los pesos secos, donde se construyeron dos calicatas por cultivo (maíz, sandía), una para el desarrollo lateral y la otra para el frontal, con dimensiones de 60 cm de largo, 40cm de ancho y 60 cm de

profundidad; para luego extraer las raíces encontradas en estratos de 10 cm de profundidad, dejándolas secar al aire libre y retirando toda la humedad posible y así las raíces pesarlas en una balanza digital y obtener su peso en gramos según la profundidad, y de esta manera determinar a qué profundidad se encuentra el mayor porcentaje de raíces, que en su defecto corresponderá al valor de H radicular de proyecto.

VIII ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

8.1 EVALUACION DE UNIDAD DE BOMBEO.

8.1.1 Evaluación del Equipo de Bombeo

Para llevar a cabo el desarrollo de esta tesis: se proporcionó una base de datos que contiene el Informe Final de Supervisión en la construcción de un (1) pozo perforado por Técnica McGregor S. A. en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INTA-CNIAB). Se perforo un agujero de 220 pies de profundidad con diámetro de 21 pulgadas

Las coordenadas UTM del sitio de perforación son: N 1341744 y E 0592787, con una altitud de 67 msnm, en la hoja topográfica Nindirí (2952-2)

Mediante la realización de esta prueba se identificaran las condiciones de eficiencia y operación del sistema de bombeo en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB). Mediante curvas características del equipo de bombeo que sirvan para interpretar en qué punto de operación se trabaja en la institución y a su vez comparar con las de fabricación.

8.1.1.1 Evaluación Eléctrica

Los datos del sistema eléctrico fueron medidos, para obtener distintas lecturas en las líneas y así conocer el voltaje y amperaje respecto al punto de operación del sistema de Bombeo en INTA-CNIAB. (Véase Anexo 1)

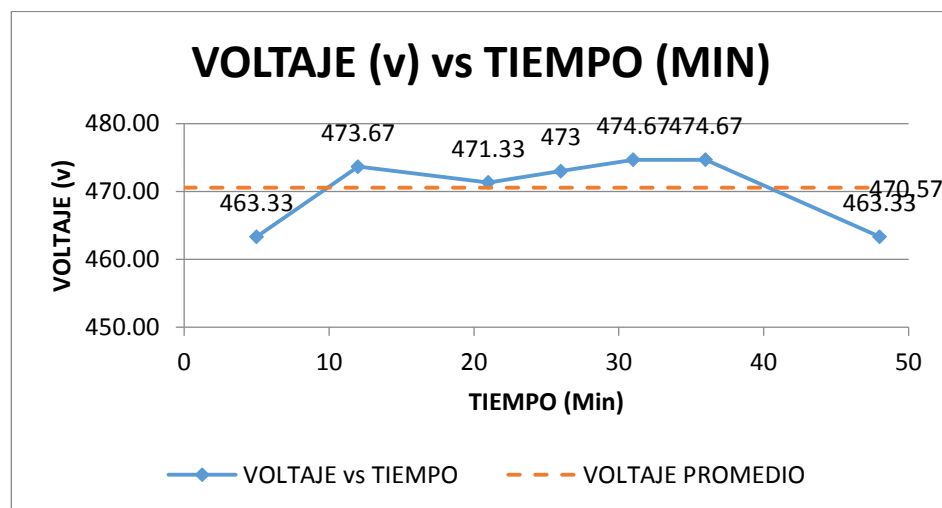
Tabla 9. Valores Promedio por variable de Evaluación Eléctrica.

VALORES PROMEDIOS POR VARIABLE				
INTERVALO	Voltaje	Amperaje	POTENCIA KW	
0	463.33	55.93	44.89	
12	473.67	55.87	45.83	
21	471.33	54.8	44.74	
26	473	55.5	45.47	
31	474.67	56.2	46.20	
36	474.67	55.3	45.46	
48	463.33	55.93	44.89	
PROMEDIO GENERAL	8.00	470.57	55.65	45.35
				60.82 hp

Fuente: Propia.

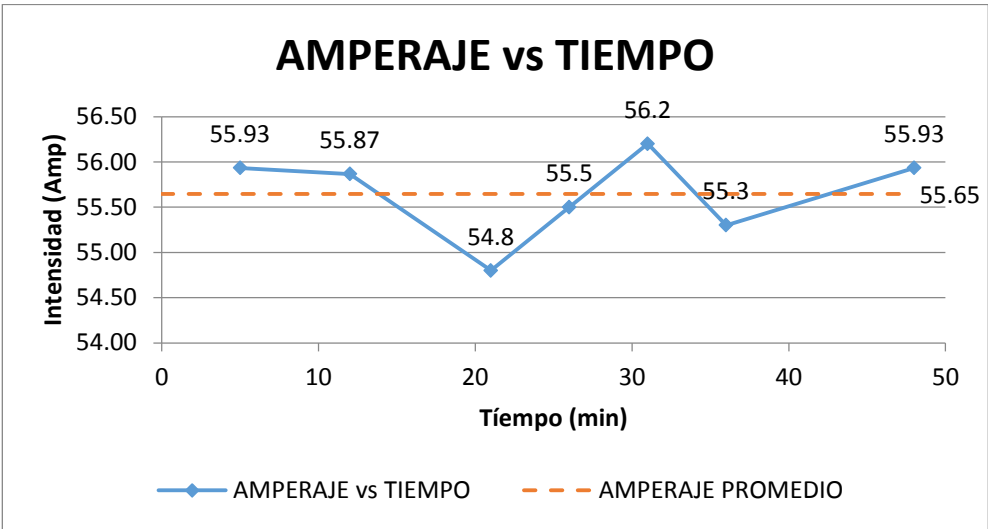
Como puede apreciarse en la tabla 9, la potencia promedio es de 60.82 Hp, dichas lecturas fueron realizadas con un voltiamperimetro siendo estas la potencia real de trabajo del motor, sin embargo en la placa del motor, la potencia de trabajo es de 100 Hp, lo que nos indica que el motor ya no presenta las condiciones óptimas debido al desgaste del mismo con el tiempo y calibración no adecuada. Lo cual dicha potencia fue comprobada con las curvas características de operación del sistema.

Figura 14. Representación de Voltaje Vs Tiempo.



Fuente: Propia.

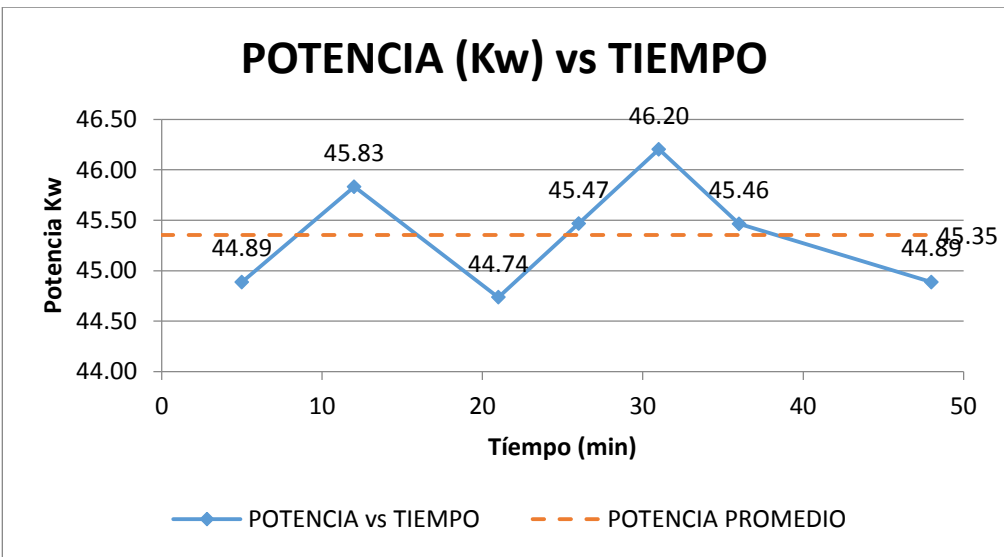
Figura 15. Representación de Amperaje Vs Tiempo.



Fuente: Propia

Como puede apreciarse las figuras 14 y 15, representan el voltaje y amperaje e indican que no varían mucho con respecto al tiempo, se mantienen en rangos adecuados, de $\pm 1\%$ con respecto al valor promedio.

Figura 16. Representación de Potencia (KW) Vs Tiempo.



Fuente: Propia.

La figura 16 representa la potencia de operación en Kw con respecto a un rango de tiempo, se produce esta pequeña fluctuación debido a los años de uso y a su no mantenimiento.

La curva de la figura 17 y 18 muestran el punto de operación del sistema para un caudal de 678 gpm, con una altura de carga de 220 pies nos produce un rendimiento de aproximadamente el 77.2%, con una potencia del motor de 49.2 Hp, así mismo indica el punto de operación adecuado para el aprovechamiento de la misma o el mínimo de esta bomba que corresponde a un caudal de 750gpm, con altura de carga a vencer de hasta 295 pies, con rendimiento de 78.4%, con una potencia de 51.6 hp. Por lo tanto si el caudal supera los 800 gpm la tendencia de la curva desciende, lo que provocaría que el rendimiento de operación del equipo sea menor. Lo que nos hace énfasis al bajo rendimiento de operación obtenido in situ cuando fueron medidas las líneas eléctricas.

Tabla 10. Calculo de la Eficiencia Electromecánica del sistema

EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO	
	DATOS TECNICOS
CAUDAL DEL SISTEMA 677.61 GPM	677.61 Gpm
CARGA TOTAL DINAMICA	219.63 PIES
INTENSIDAD PROMEDIO	55.65 (AMPERIOS)
VOLTAJE PROMEDIO	470.57 (VOLT)
FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO	1 (%)
POTENCIA EN LA ENTRADA DEL MOTOR	60.80 Hp
GRAVEDAD	32 FT/SEG2
POTENCIA EN LA SALIDA DE LA BOMBA	37.58 Hp
EFICIENCIA ELECROMECHANICA (%)	61.81 (%)

Fuente: Propia

Figura 17: Curvas Características del Equipo de Bombeo en el punto de Operación de trabajo de la institución

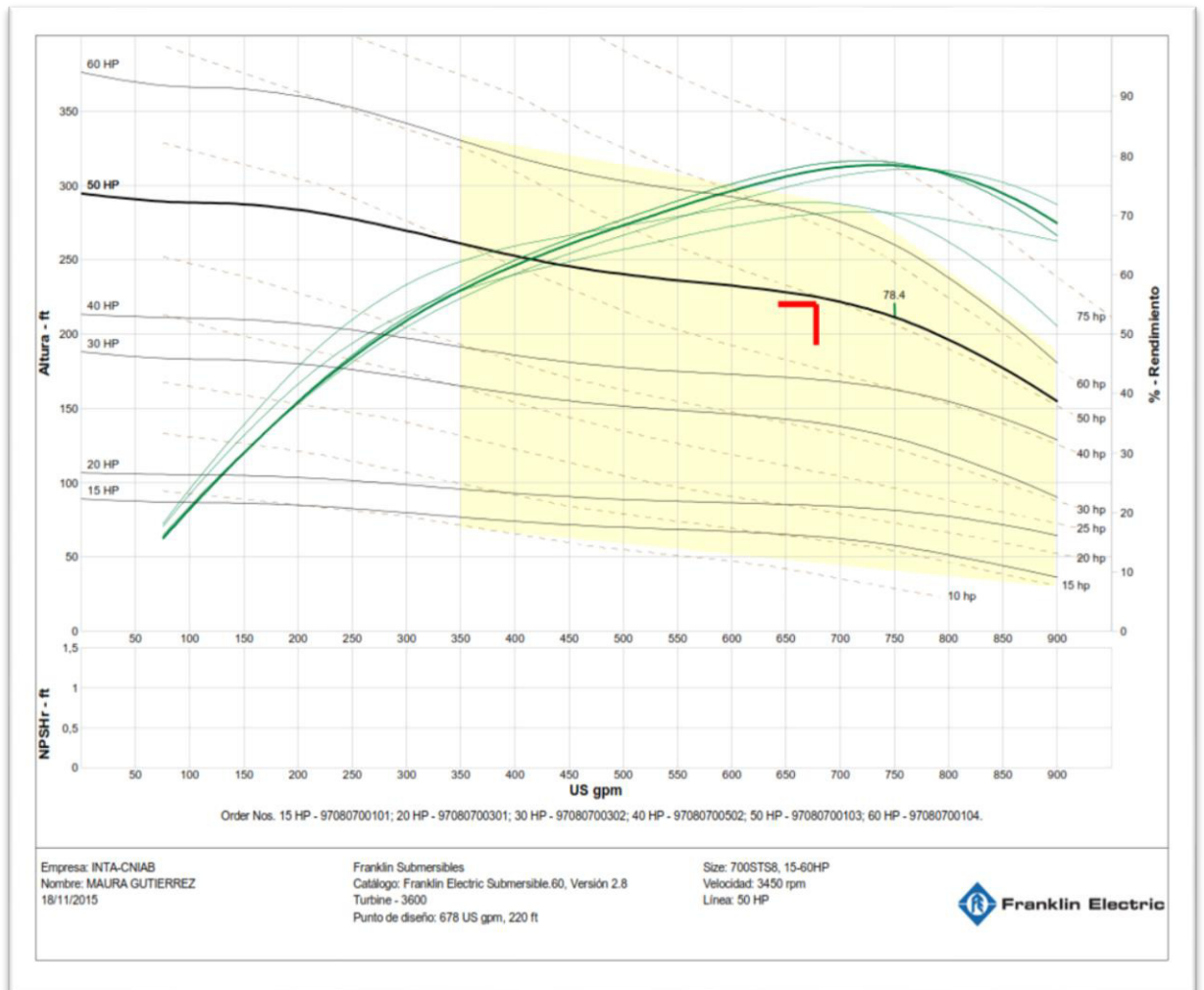
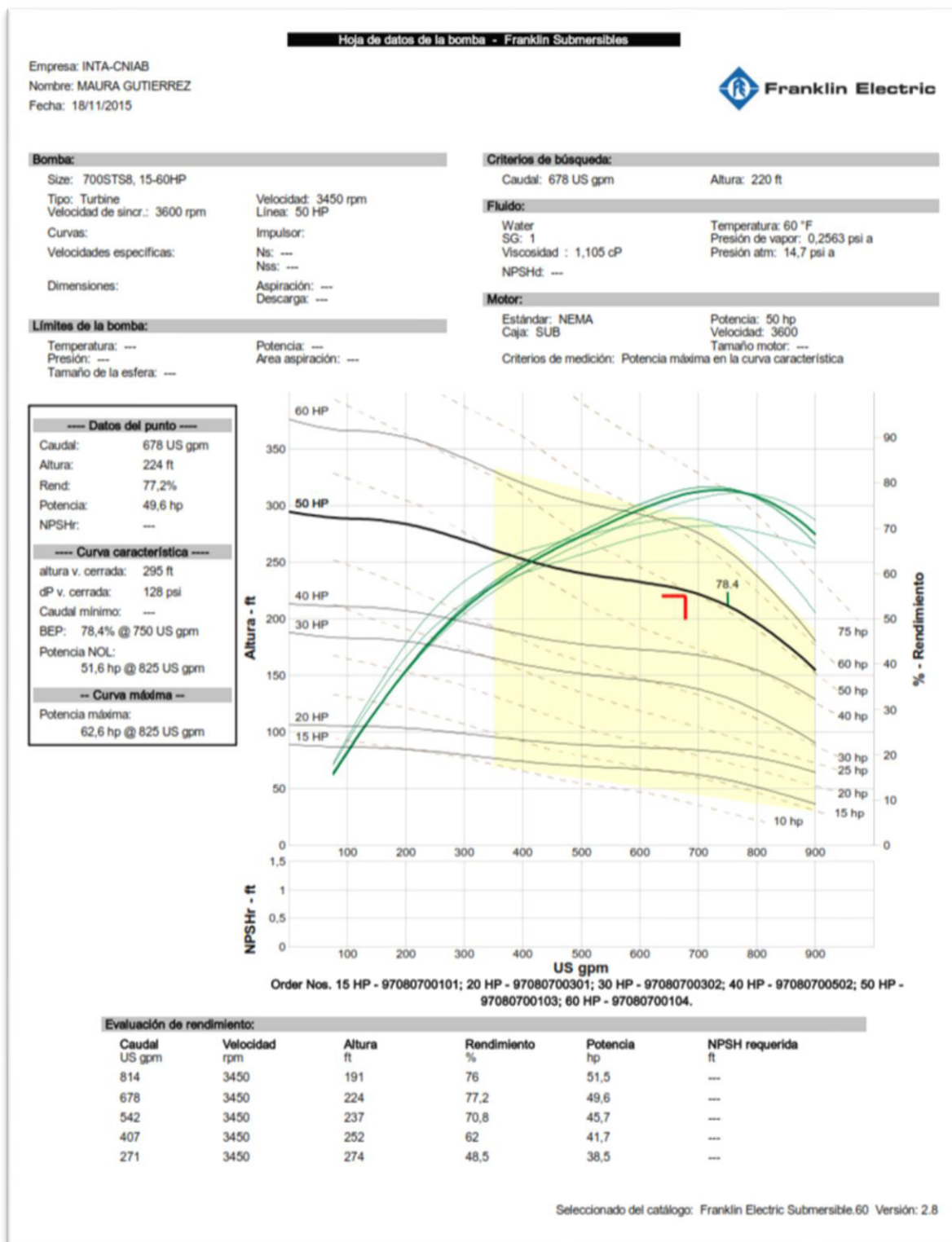


Figura 18. Resultados del Rendimiento de la Curva Característica de la Bomba.



8.1.1.1.1 Especificaciones del motor:

- ✓ WT: 1110LBS
- ✓ BAL: 0.08 IPS
- ✓ HP: 100
- ✓ RPM: 1780
- ✓ SF: 1.15
- ✓ HZ: 60
- ✓ VOLTS: 460
- ✓ MAX KBAR: 25.3
- ✓ NEMA NOM EFFICIENCY: 93.0
- ✓ AMPS: 118
- ✓ CODE: 6
- ✓ DES: B
- ✓ SF AMPS: 137
- ✓ PF: 85.0
- ✓ GUARANTEED EFFICIENCY: 91.7

Comparando las especificaciones de la placa del motor con los datos medidos en las líneas eléctricas los ampere obtenidos en campo son de 55.65, con 470.67 volt, obteniendo una potencia de 60.82 Hp, nos indica que la intensidad ha disminuido un 47% con respecto a la de fabricación por lo tanto el rendimiento es menor debido a la degradación del motor por horas de trabajo. (Véase Anexo 1)

De este estudio se puede decir que la estación de bombeo no recibe el mantenimiento adecuado que se le debería de dar. Porque a la hora de realizar esta prueba la volante de la bomba se encontraba en mal estado; los paneles se encontraron sucios, lo cual fue comprobado y aseverado por el operador que afirma que no llegan técnicos a dar mantenimiento, que el equipo de Bombeo es encendido a las 6:00 am y apagado a las 4:00 pm trabajando un total de 10 horas diarias de lunes a viernes y sábados de 6:00 am a 12:00 md 6 horas,

haciendo un total de 56 horas semanales, 224 horas mensuales y 2688 horas al año.

8.2 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL SISTEMA

Se determinó y analizo variables técnicas de operación del Pozo perforado, ubicado en Finca San Cristóbal (INTA) en Managua operando con una bomba Franklin Electric de turbina tipo vertical de motor externo y diámetro de descarga de 8", leyéndose el Caudal con el caudalimetro del conjunto.

La prueba realizada comprueba que la bomba está trabajando con un caudal promedio en la descarga de 677.61 gpm, (medido en la sarta) independientemente de la cantidad de laterales y aspersores que se encuentren en el terreno. (Véase Anexo 2 y Tabla 11)

Tabla 11. Consolidado de Resultados de Caudal.

Tiempos Acumulados de prueba (Min)	Caudal promedio (GPM)
27.00	810.22
29.00	676.35
33.00	610.60
30.00	543.08
17.00	733.89
17.00	763.25
43.00	587.73
30.00	695.73
CAUDAL PROMEDIO	677.61

Fuente: Propia.

De manera análoga, en la Tabla 12 se presentan resultados de CTD, calculados en función de informe emitido por McGregor y generada en campo en el periodo de prueba y evaluaciones propias.

Para la determinación de la distribución del agua por tuberías desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de emisión en la parcela; se comprueba por medio de evaluaciones de campo de que en la salida de la bomba y punto ubicado en la sarta el caudal promedio es de 677.61gpm, perdiéndose por fugas en uniones y accesorios, en el sistema la cantidad de 195 gpm, lo que arroja una eficiencia de explotación del 71.2% (Véase anexo 1)

En la tabla 13 se reflejan datos obtenidos por evaluación de campo como medida de confirmación y comprobación de caudales de salida de bomba, pero en este caso medidos desde la cantidad de aspersores trabajando simultáneamente y la suma de caudales contabilizada por medio de las fugas en el sistema, dando como resultado de esta suma algebraica, el caudal de salida de la bomba.

Tabla 12. Recopilación de información para Resultados de Evaluación Hidráulica.

DATOS RECOPIADOS EN CAMPO Y EMPRESA Mc GREGOR			
DESCRIPCION	UNIDADES	METROS	FUENTE
Perforación pozo	220 pies	67.056	McGregor
Ubicación de la Bomba	180 pies	54.864	McGregor
Nivel Estático del agua	26 pies	7.93	McGregor
Variación estacional	15 pies	4.57	Propia
Nivel dinámico del agua	30.7 pies	9.36	McGregor
Presión descarga de la bomba (Medida con Manómetro)	54 psi	37.8	Propia
Pérdidas en succión (5% longitud columna)	20 pies	6.3	Propia
Carga de Trabajo del aspersor (Medida con manómetro)	45 PSI	31.5	Propia
Desnivel del Terreno		1	Propia
CTD	219.62	66.96	

Fuente: Mc Gregor, propia

Otro dato evaluado fue el caudal, del cual por pruebas realizadas en campo se obtuvo:

Tabla 13. Obtención del Caudal del Sistema de Riego por Aforos in situ.

CAUDALES ENCONTRADOS INSITU		
Caudal promedio del Aspersor	7.21 (gpm)	
DATOS DE DISEÑO		
Cantidad de aspersores por lateral.	12 unidades	96 Aspersores
Cantidad de laterales	8 unidades	
DATOS ENCONTRADOS EN CAMPO		
Cantidad de aspersores por lateral.	12 unidades	60 Aspersores
Cantidad de laterales	5 unidades	
FUGAS CONTABILIZADAS		
Promedio de fugas	1.3 gpm	195 gpm
Cantidad de fugas contabilizadas en campo	150	
PERDIDAS EN EL SISTEMA		
Porcentajes de perdidas	28.70%	
CAUDAL TOTAL DEL SISTEMA(medido con aspersores y fugas)	195 gpm de pérdidas + (60 aspersores. * 7.21 gpm)	627.6 gpm

Fuente: Propia.

Se conoce que en sistemas con un adecuado mantenimiento las perdidas tienen que ser menores al 10% del caudal transportado, por lo que se asevera que la red cuenta con un mantenimiento insuficiente, puesto que las pérdidas son del 31% presentándose principalmente en los tubos porta aspersores, acoples e hidrantes. A medida que la bomba tiene que hacer un mayor esfuerzo para impulsar agua a mayor altura y mayor distancia el caudal que esta entrega se va reduciendo.

Así mismo se comprueba que el caudal medido con el caudalimetro es de 671.61 gpm, y el contabilizado en campo es de 627.6 gpm obteniendo una diferencia de correspondiente a **7.4%** de diferencia por lo cual se acepta y corrobora el estudio.

8.3 Prueba de Aforo en aspersores

Con esta prueba se pretende conocer el caudal de trabajo de los aspersores en condiciones de operación normal de la institución.

Para medir la presión en los aspersores, es necesario seleccionar un área o lote representativo, así como los aspersores a evaluar, se recomiendan hacer mediciones en el primer y último aspersor de cada lateral para evaluar la presión de entrada y de salida y así chequear cual lateral presenta las condiciones más críticas por tener mayor cantidad de fugas.

Se debe acoplar un manómetro y tubo de Pitot a la boquilla del aspersor. (El manómetro debe estar previamente calibrado). Para poder realizar la primera medición se deja estabilizar la presión en el sistema, por espacio de varios minutos (la medición debe realizarse simultáneamente en el primer y último aspersor) y posteriormente tomar datos de prueba.

8.3.1.1.1 Aforo de los Aspersores (Método Volumétrico).

La realización de los aforos en los aspersores se realiza en el área representativa, laterales y aspersores escogidos para la medición de presiones, por presentar las condiciones críticas del sistema evaluado. Siendo el método utilizado el de aforo volumétrico, con el cual teniendo una manguera de un metro de longitud y un recipiente de caudal conocido (5 galones), se introduce la manguera a la boca del aspersor y cuando ya lleve unos segundos saliendo el agua por el otro extremo de la manguera, se introduce en el recipiente y se mide el tiempo (con ayuda de un cronómetro) que tarde en llenar esos 5 galones. La prueba debe ser realizada varias veces para encontrar el valor promedio. (Véase Anexo 9 y resultados en Tabla 14).

Los laterales evaluados son de 216 metros de longitud; 12 aspersores con 18 metros de separación entre cada uno, contando con 36 tubos de hierro galvanizado por lateral más acoples, debido a todo este sistema de arreglo de tuberías, accesorios y perdidas el caudal promedio que están erogando los aspersores es de 0.46 lps, (7.2 gpm).(Véase Anexo 9)

En la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos de uno de los aforos realizados en dos laterales donde se midió el caudal de los aspersores representativos de cada lateral, correspondientes al primero, sexto y doceavo aspersor. (Véase Anexo 9)

Tabla 14. Caudal promedio de aspersor SENINGER 4023.

	Caudales	
	Lateral 1 (lps)	Lateral 2 (lps)
Aspersor 1	0.52	0.49
Aspersor 6	0.44	0.42
Aspersor 12	0.44	0.43
Promedio	0.47	0.45
Promedio Total	0.46	

Fuente: Propia

8.3.1.2 Presión de los Aspersores.

Los resultados obtenidos en la evaluación, están basados en mediciones realizadas en el sistema, destacándose la presencia de accesorios y equipos que permiten realizar dicha evaluación, tales como:

- La Altura del elevador (Cinta métrica): 1.70,
- Velocidad del viento (Anemómetro digital): 2m/seg,
- Temperatura (Anemómetro digital): 32.2°C,
- Diámetro de la boquilla del aspersor (Pie de rey): 3 mm
- Radio de alcance del aspersor (Cinta métrica): 12mts boquilla grande; 10mts boquilla pequeña,
- Manómetro de glicerina para medir presiones.

Cuyos datos fueron medidos en diferentes días de realización de las pruebas, incluyéndose Los resultados de campo de Presión a la salida de la boquilla del aspersor, se determinan con Manómetro de glicerina, siendo éstos de 45psi para aspersores boquilla grande y de 40 psi para aspersores de boquilla pequeña respectivamente, valor que se encuentra dentro del rango especificado en catálogo. En dicha prueba se observó una baja de presiones en los últimos aspersores llegando a un valor de 36 y 32 psi, en la posición más alejada del equipo de bombeo siendo notorias las pérdidas en el sistema (Afectaciones de fugas en uniones). (Véase Anexo 9)

La pérdida de carga en la línea, más el desnivel existente entre el primer y último aspersor no debería de superar el 20% de la presión de trabajo del aspersor para lograr una aplicación uniforme en todos los aspersores de la línea. En la evaluación se pierde el 12% de presión.

8.3.1.3 Aforo en Unidad de Bombeo

El sitio se ubica del Km 14 carretera norte, 1.2 Km al sur, sobre camino del CNIA. Las coordenadas UTM del sitio son: N 1341744 y E 0592787, con una altitud de 67 msnm, en la hoja topográfica Nindirí (2952-2)

El modelo de instalación de la Unidad de Bombeo, de la finca experimental del INTA, debido a sus características solo puede ser aforado directamente por medio de un caudalímetro.

Se encuentra instalada una sarta de descarga completa de 8" de diámetro la cual consta de:

- Dos niples de Acero de 8" de diámetro x 1 a 2 pies de longitud con flanges de 8" en ambos extremos para colocar en el cabezal de la bomba.
- Una válvula check horizontal de 8" de Hf con flanges en los extremos.
- Una válvula de compuerta de 8", tipo pesada de hierro fundido.
- Una válvula de aire y vacío de 2".
- Una válvula aliviadora de presión de 2".
- Un codo de acero de 8" x 90° con flanges en los extremos.
- Un medidor de caudal con propulsor y flanges en los extremos, hf.

Por estas razones, existe posibilidad técnica de efectuar aforos volumétricos utilizando el caudalímetro instalado en sarta, el cual está acoplado en tubería de descarga. Es de importancia mencionar que también es factible realizar aforo de la unidad de bombeo por medio de los aforos obtenidos en los aspersores; siendo en este caso, el resultado como el producto del caudal promedio del aspersor por el número de aspersores regando simultáneamente, más un incremental perdido en fugas en la uniones de las tuberías (situación real en el INTA).

Es de importancia mencionar datos hidrogeológicos que se proporcionaron después de la perforación del pozo que ayudaran a comprender por qué la estación de bombeo y pozo carecen de ciertos parámetros importantes tales como:

- Falta de sello sanitario.
- No se colocaron los tubos piezométricos para monitoreo del nivel de agua en el pozo.
- Falta de tapón en el fondo del pozo
- En la sarta no se colocó tubo para acoplar manómetro y monitorear presiones en la descarga.¹

¹Para la realización de la tesis se solicitó formalmente que se pusiera un niple para poder instalar el manómetro y así evaluar la presión siendo esto de suma importancia.

Tabla 15. Cuadro comparativo entre Evaluación realizada y datos de Diseño.

PARAMETROS	ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO	ESPECIFICACIÓN EN CAMPO
Q Bomba	800 GPM	677.61 GPM
Q Aspersor	12 GPM	7.21 GPM
Q Lateral	144 GPM	86.52 GPM
Nº Aspersores por lateral	12	12
Nº Aspersores trabajando simultáneamente	96	60
Tiempo de riego por día	16hr	12hr
Tiempo de riego por posición	4hr	3hr
Frecuencia de riego	4días	5 días
Longitud del lateral	216mt	216 mt
Presión de la Bomba	75psi	54 psi
Presión del aspersor	46psi	40 psi

Fuente: Propia

Como puede apreciarse en Tabla 15. el caudal de descarga evaluado es de 677.61 gpm dato que resulto de la prueba de aforo con caudalímetros, en su momento McGregor recomienda un caudal óptimo de explotación de 900 gpm, para obtener un descenso de 9.36 metros; sin embargo en acuerdos con el INTA y McGregor la bomba se explotara a una razón de 800 gpm, lo cual en el momento de realización de evaluación no se está cumpliendo con el caudal de explotación del diseño (800 gpm).

Es de importancia mencionar que el diseño del pozo fue construido para que este operara en periodos cortos de emergencia con un caudal máximo de 1750 gpm correspondiente a un descenso máximo de 20.27 mt. (Véase Anexo 16), como puede apreciarse en la actualidad el pozo la administración del INTA lo está sub explotando por problemas de antigüedad del equipo de bombeo y por decisión administrativa de la dirección del riego de la institución .

8.4 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE RIEGO

8.4.1 Descripción de la Red Hidráulica.

El diseño de Riego por aspersión instalado en INTA- CNIAB, cubre un área de 70 manzanas (49.3 Ha) de un total de 95, que corresponden al área total de la Finca; de las cuales solo 27 mz (19 ha) están siendo utilizadas con riego en esta superficie se encuentra instalado sistema de Unidad de Bombeo y un arreglo completo de tuberías y accesorios de control y protección que garantiza la operatividad del riego en las condiciones actuales.

El equipo de bombeo está formado por una bomba de turbina vertical y motor trifásico montado sobre la base de la bomba, con su respectivo panel eléctrico, de forma paralela a la estación de bombeo y al camino de acceso, va la tubería principal, con una longitud aproximada de 440 mt, dicha tubería es de PVC de 8" (pulgadas) de diámetro por 6 mt de largo por tubo y con un SDR respectivo de 41(Véase Anexo 5).

Las líneas de tuberías secundarias que se encuentran hacia el Norte y Sur de la Ubicación de la estación de bombeo, poseen un diámetro de 6" (pulgadas) y cuentan con 20 Hidrantes respectivamente, dichos hidrantes están espaciados 53 mt entre cada uno, en la línea principal. (Véase Anexo 5)

Conectados a la tubería secundaria se encuentran las líneas de laterales, el sistema tiene la capacidad de trabajar con 8 líneas regantes, de 12 aspersores cada una, sin embargo en la actualidad solo operan 5 líneas (con 12 aspersores). Cada línea lateral cuenta con 225 mt de longitud en promedio, constituida por tubos de aluminio de 4" con acoples, el espaciamiento típico entre lateral y aspersor es de 18 X 18 metros respectivamente, para sistema con espaciamiento cuadrado. (Véase Anexo 5)

El tipo de aspersor utilizado es marca SENINGER, modelo 4023-2-3/4" M, doble boquilla de salida, con rango de caudales de 5.30 - 14.4 gpm, presiones de 25-70 psi y radios de alcance de 12.75 – 18.15 mt según catálogo, o sea en condiciones de laboratorio de cero viento, emitidas por el fabricante. (Véase Anexo 5).

En el centro de investigación el caudal promedio de estos aspersores es de 7.21gpm con presiones de 40 psi los de boquilla grande y 35 psi los de boquilla pequeña, respectivamente el radio de alcance de estos es de 10- 12 mt, a condiciones de vientos con velocidades de 2 m/seg, datos que fueron obtenidos mediante pruebas y mediciones realizadas insitu.

Los elementos que conforman el sistema de bombeo son: Una bomba de turbina vertical con una capacidad promedio de 677.61gpm, un motor eléctrico de 100 HP (caballos de fuerza) según fabricante y un panel eléctrico de control. (Véase Anexo 5).

Otros elementos importantes que forman parte de este inventario del sistema de riego son los accesorios tales como: hidrantes, válvulas de línea, tee lisas, reductores, codos de 45º y 90º, adaptadores, elevadores, tapones, etc. (Véase Anexo 5)

A continuación en Tabla 16. Se detallan los cultivos establecidos en el área que atiende el sistema de riego.

Tabla 16. Cultivos Establecidos en INTA durante Periodo de Evaluación.

Cultivo	ÁREA (mz)
Sorgo	6
Maíz	8
Quequisque	3
Sandia	2
Frijol Caupi	3
Yuca	5
Total	27

Fuente: Propia

En total existen 27 Manzanas (19 Ha) , las que se están regando al momento de la realización de este estudio, quedando una gran área sin ser regada debido a que solo se riega en áreas que corresponden a las asignaciones de ensayos de la institución.

Es notorio observar con lo descrito, que en las áreas de atención del sistema de riego, varían llegando a cultivarse máximo 45 Manzanas donde cada cultivo regado recibe las mismas condiciones de agua, independientemente de las necesidades hídricas de éste en cada cultivo, los valores estandarizados de la operación del riego se describen a continuación:

- Caudal de unidad de bombeo: 677.61 gpm.
- Precipitación / hora: 7mm.
- Presión del aspersor: 45 psi
- Duración de cada aplicación: 2 a 3 horas según fase fenológica.
- Ciclo de Riego: 1 semana.

Datos que fueron proporcionados por el responsable del área de riego y que luego más adelante se comprueba con pruebas y cálculos realizados en campo.

8.4.2 Eficiencia de Distribución y Aplicación del agua

8.4.2.1 Prueba de Coeficiente de Uniformidad

Con esta prueba se determina y caracteriza la uniformidad de distribución del agua generada por los aspersores.

Los datos recolectados en la evaluación pluviométrica realizada en la finca San Cristóbal (INTA-CNIAB) para el cálculo de coeficiente de uniformidad están basados en la metodología de Christiansen.

Esta evaluación se realizó en 2 distintas posiciones de laterales, tomándose en cuenta diferentes parámetros relevantes como: velocidad y dirección del viento, marco de riego, presiones, radios húmedos, tiempo de puesta, modelo y caudal de aspersores. Siendo los valores correspondientes en la evaluación los siguientes: marco de riego de 18×18, velocidad de viento medio de 2.00 m/s y dirección de viento Noroeste.

Los resultados se analizan por las siguientes metodologías:

8.4.2.1.1 Método de Christiansen

La uniformidad con que se regó en el centro del cuadrante donde se evaluó a los aspersores, presenta una uniformidad correspondiente al **81.52%**, que se considera aceptable para este sistema de riego. (Véase anexo 6). Aunque hay gran parte en la que se entrega la misma lamina, hay pérdida de agua ya que hay áreas que se están sobre irrigando y otras se riega menos.

Un criterio que se considera más preciso para dictaminar el CU recomendado para cada cultivo es el descrito por la FAO, que toma en cuenta la pluviometría deficitaria y excedente con relación a la media aplicada basándose en Christiansen. Obteniendo **11 zonas de déficit y 10 de exceso**

Así mismo de los datos recolectados en los pluviómetros y ya teniendo el CU, se determinan otros factores de igual importancia tales como la Uniformidad de Distribución (UD%), Eficiencia de aplicación (Efa%) y Coeficiente de variación (CV), (véase Anexo 6)

Obteniendo valores que describen la situación en la que se encuentra y opera actualmente el sistema de riego y que se muestran a continuación:

Tabla 17. Resultados de Operación del Sistema de Riego.

UD =	72.15
CV =	0.25
Efa =	40.81

Fuente: Propia.

Lo que refleja mayor déficit de agua a causa de la percolación y mayores pérdidas obteniendo valores bajos en **la eficiencia de aplicación de agua** (40.81%) y un 27.85% en pérdidas obtenidas mediante la **uniformidad de distribución**. (100- Ud)

El total de pérdidas en el sistema se obtiene de multiplicar la Uniformidad de Distribución (UD%) con la Eficiencia de aplicación (Efa%) obteniendo: 29.4% de pérdidas.

8.4.2.1.2 Programa el regante

Este consiste en una hoja de cálculo de riego procesada en el ambiente de Excel (En esta hoja se introducen los datos recolectados en los recipientes pluviométricos) que permite el cálculo del coeficiente de uniformidad de cuatro aspersores, dispuestos en forma cuadrada o rectangular. Además calcula la eficiencia de aplicación del riego, el grosor de la gota y la Uniformidad en el lateral de riego.

Del cual se obtiene: un CU = 82%, con uniformidad del lateral admisible, con diferencias de presiones en el lateral de 4.7 mca, con una intensidad de gota del

aspersor gruesa y una Eficiencia de Aplicación de 41% la cual representa la lluvia que llega al suelo. (Véase anexo 7.)

Al comparar ambas metodologías (véase Tabla 18) se percibe que coinciden con los resultados analizados con un margen de redondeo muy pequeño , por lo tanto se corrobora la evaluación pluviométrica pues nos indica que de 60 aspersores que están trabajando simultáneamente, solo 49 están trabajando uniformemente con la lámina media los que representan al 82%; y 11 presentan déficit de uniformidad en la aplicación del agua a la parcela.

Tabla 18. Cuadro Comparativo por Metodologías de Evaluación del Coeficiente de Uniformidad.

Variables	Christiansen	El regante
Coeficiente de Uniformidad	81.52%	82%
Eficiencia de Aplicación	40.81%	41%
Uniformidad de Distribución	72.15	72
Coeficiente de Variación	0.25	0.3

Fuente: Propia.

Al obtener los resultados antes mencionados y con ayuda del programa Surfer y AutoCAD se procede a representar gráficamente las láminas de agua de los pluviómetros, así como las curvas isohipsas, de infiltración. (Véase anexo 8)

8.5 EVALUACION AGRONOMICA

8.5.1 Porcentaje de Humedad en el Suelo después de un Riego

Con esta prueba se pretende determinar el porcentaje de humedad que presenta el suelo a diferentes profundidades para calcular la lámina de agua después de un riego.

En las tablas 19 y 20 Se presentan datos obtenidos en campo y laboratorio correspondiente a la prueba de humedad realizada en el INTA-CNIAB; dicha prueba fue realizada después de un riego, donde se hicieron dos calicatas ubicadas al lado este (lote de maíz) y oeste (lote de Quequisque) del campo experimental. (Véase Anexo 10)

Donde los % de humedad a profundidad óptima de raíces en los lotes resultaron de:

Tabla 19. Calculo de Porcentajes de Humedad en lote de Maíz.

Calicata 1 (lote maíz)							
Profundidad (cm)	Nº Tara	Peso Tara (gr)	T+SH	T+SS	SS	H2O	% humedad
0-20	A-01	42.05	291.45	226.00	183.95	65.45	35.58
20-40	A-18	41.20	279.55	223.40	182.20	56.15	30.82
40-60	A-22	41.15	255.55	212.70	171.55	42.85	24.98

Fuente. Propia

Tabla 20. Calculo de porcentajes de Humedad en lote de Quequisque.

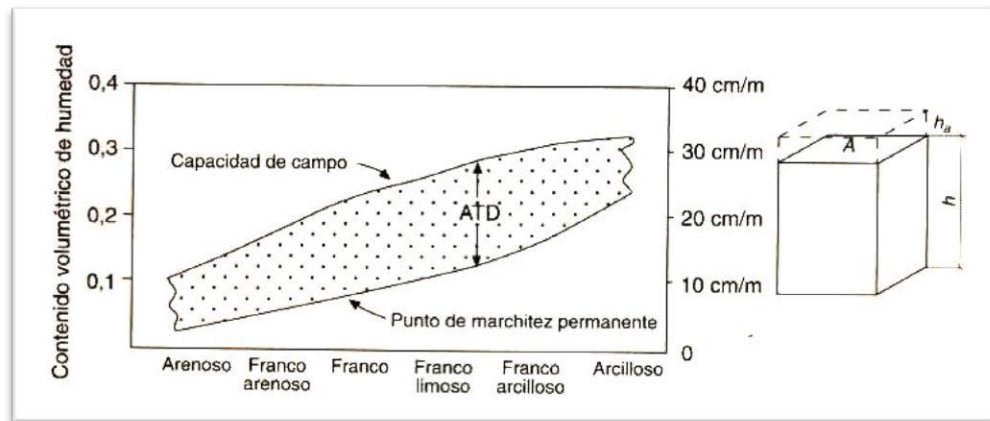
Calicata 2 (lote Quequisque)							
Profundidad (cm)	Nº Tara	Peso Tara (gr)	T+SH	T+SS	SS	H2O	% humedad
0-20	A-05	41.85	237.2	196.15	154.30	41.05	26.60
20-40	K-30	41.75	229.95	198.45	156.70	31.50	20.10

Fuente. Propia

Los % de Humedad en el lote 1, a 0.20 mt es de 35.58% y a 0.40 mt es de 0.82, lo que nos indica que el porcentaje de humedad supera al % Cc; lo mismo sucede en el lote 2. (véase anexo 12)

En la técnica del riego es muy útil expresar el contenido de agua en el suelo en forma de altura de lámina de agua. Las unidades más frecuentes para medir el contenido de humedad en el suelo son el m³/ha y el mm entre las que existe la relación: 1mm = 10 m³/ha. (Véase figura 19)

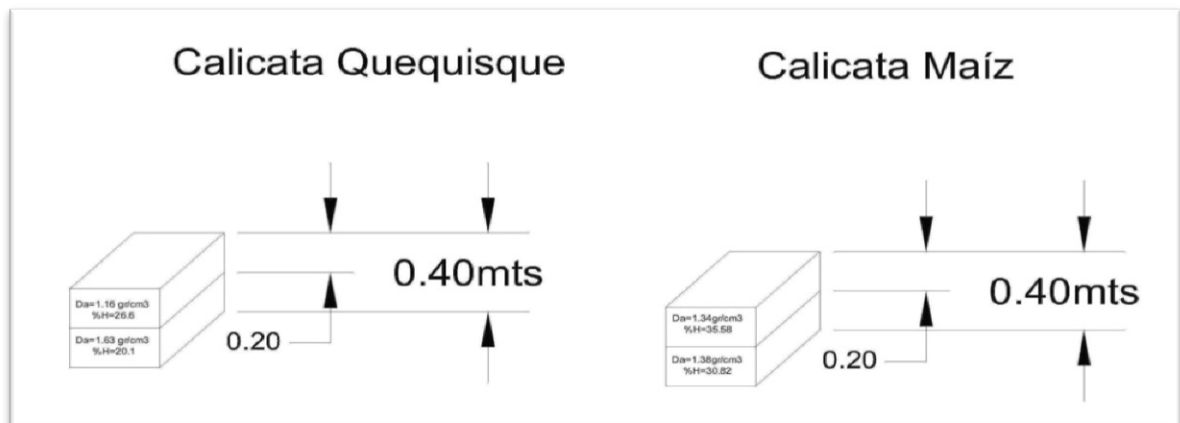
Figura 19. Contenido de Agua en el Suelo (ATD es el agua disponible)



Fuente: El riego por Aspersión y su Tecnología José María Tarjuelo.

Con lo que podemos basar y expresar datos y cálculos obtenidos en evaluación que se presentan en figura 20 a continuación:

Figura 20. Representación de Calicatas de campo.



Fuente: Propia.

En los cuadros 21 y 22 se presentan los resultados de la lámina de agua, tomados a partir de la humedad Calculada después de un riego, es decir con suelo húmedo, para los dos lotes representativos. (Véase anexo 10)

Tabla 21. Calculo de lámina de agua después de un riego en lote 1.

Calicata 1 (lote maíz)				
Profundidad radicular (mt)	% humedad	Da (gr/cm ³)	Nn (m ³)	Nn (mm)
0.2	35.58	1.34	953.54	95.35
0.2	30.82	1.38	850.63	85.06
Nn a 0.4 mt			1804.18	180.41

Fuente: Propia.

Tabla 22. Calculo de lámina de agua después de un riego en lote 2.

Calicata 2 (lote Quequisque)				
Profundidad radicular (mt)	% humedad	Da (gr/cm ³)	Nn (m ³)	Nn (mm)
0.2	26.6	1.16	617.12	61.71
0.2	20.1	1.63	655.26	65.52
Nn a 0.4 mt			1272.38	127.23

Fuente: Propia.

8.5.2 Determinación de lámina de riego de reposición

La lámina de reposición de riego puede ser determinada a partir de datos obtenidos en laboratorio u bibliografías que nos ayuden a interpretar la ecuación teórica:

$$Ln = 100D_a(Cc - Lp)Hr$$

Donde:

Ln: lamina de riego (m³ o mm)

Da: densidad aparente del suelo (gr/ cm³).

Cc: capacidad de campo %.

Lp: limite productivo % (Lp= 80% Cc)²

Hr: profundidad radicular (mt)

Datos tales como: Capacidad de campo (Cc) y Densidad Aparente (Da) fueron obtenidos por métodos de laboratorio (véase anexo 12) obteniéndose a partir de estos los resultados reflejados en Tablas 23 y 24 a continuación:

Tabla 23. Resultados de La lámina de riego de reposición.

	Profundidad radicular (mt)	Da (gr/cm3)	%Cc	% Lp	Ln (m3)	Ln (mm)
LOTE 1	0.2	1.34	28.00	22.4	150.08	15.008
	0.2	1.38	28	22.4	154.56	15.456
	0.4				304.64	30.464
LOTE 2	0.2	1.16	17	13.6	78.88	7.888
	0.2	1.63	17	13.6	110.84	11.084
	0.4				189.72	18.972

Fuente: Propia.

Se conoce por laboratorio que la Cc = 28% y 17% la cual a partir de este indicativo, se afirma que el suelo está siendo sometido a un encharcamiento pues él % de humedad al que es sometido el suelo con el riego supera la Cc en un 8%.

Tabla 24: Análisis comparativo de Resultados Agronómicos.

	Profundidad radicular (mt)	%Cc	% humedad	Ln (mm)
Calicata 1	0.2	28	35.58	15.008
	0.2	28	30.82	15.456
	0.4			30.464
Calicata 2	0.2	17	26.60	7.888
	0.2	17	20.10	11.084
	0.4			18.972

Fuente: Propia.

² Tomado de Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos, fuente estudio FAO riego y drenaje tomo 33: Dorenbos, A.H. Kassam. Pág 110.

IX CONCLUSIONES

Al analizar los resultados de las pruebas realizadas, comparándolas con parámetros técnicos expuestos anteriormente en dicho estudio se concluye que:

1. El conjunto unidad de bombeo no está trabajando en el punto óptimo de operación con respecto a la potencia 60 Hp, amperaje ($L_1=54.5$, $L_2=56$, $L_3=55$) y caudal de la bomba (677.61 Gpm), los cuales están por debajo de los valores nominales (118 Amperios, 100 Hp y 800 Gpm.), así mismo la bomba no está operando en el punto óptimo de funcionamiento, por presentar una Potencia del orden del 37.6 Hp, que al compararla con el valor nominal para la bomba instalada resulta ser menor, lo cual incide sobre una disminución del caudal a bombearse.
2. Las fugas por distribución de agua en el sistema resultan de un 31 % de variación de caudal, sobrepasando las normas que recomiendan hasta un 10% para este tipo de sistemas; valorándose como excesivas, en las condiciones actuales de operación del sistema de riego se pierde de regar un 31% del área de cobertura del sistema, cuantificándose por ende un descenso en la producción del cultivo versus sistema de riego.
3. Al comparar el caudal promedio (Q_s) a partir de la lámina promedio aplicada con el valor promedio aforado en los aspersores resultan valores de Eficiencia de aplicación (E_a) de 40.81% lo cual indica que se está en presencia de riego deficiente, ya que el valor de lámina de agua recibido es pluviómetros es menor que el de salida del aspersor así mismo, coeficientes de Uniformidad del 81.52% por el método de Christiansen, Se consideran aceptable para este sistema de riego basándonos en un criterio más preciso como lo indica la FAO donde se toma en cuenta la pluviometría deficitaria y excedente con relación a la media aplicada,

4. La Uniformidad de Distribución (UD%) obtenida es de 72.15% que nos indica que solo este % del sistema está trabajando correctamente y el 27.85% es de pérdidas.
5. Coeficiente de variación (CV) o coeficiente de Hart es de 0.25 lo que nos indica la des uniformidad entre los aspersores dispuestos en el terreno. El CH no debe sobrepasar los valores del 20-25% encontrándose este en el límite.
6. La variación de presiones en los laterales es notoria con respecto al primer y último aspersor, siendo el 12% de presión perdida, y con respecto al primer y último lateral se pierde el 20% de presión siendo el máximo permitido

X RECOMENDACIONES

El INTA-CNIAB como Centro Nacional de Investigación requiere una eficiente aplicación del recurso agua, y así optimizar y explotar toda el área, por lo tanto se recomienda:

1. Por clara evidencia en sitio de cumplimiento de vida útil y por resultados obtenidos de operación del conjunto en la evaluación realizada, el refraccionamiento de partes de bomba y/o cambio; instalación de motor, tuberías y accesorios nuevos del sistema de riego para un aprovechamiento óptimo de los recursos de la explotación agrícola en el **INTA-CNIAB**.
2. Realizar registros diarios de los trabajos efectuados en campo, donde se indiquen los datos técnicos básicos requeridos para optimizar y facilitar el trabajo. (Plan de riego).
3. Capacitar constantemente a los encargados del trabajo de campo, responsables del riego, asegurando de esta manera la correcta explotación y mantenimiento del sistema.
4. Programar el riego y por ende los Tiempos de puesta, y dosificación de la lámina de agua aplicada, en función del tipo de cultivo y su estado fenológico.
5. Elaborar un plan de trabajo donde se incluya la participación en paralelo de los distintos departamentos de trabajo de la institución.
6. Realizar chequeos diarios en las distintas zonas y llevar un control de los accesorios o tuberías que se encuentren en mal estado para evitar que no llegue la presión en las zonas más críticas y se presenten grandes fugas que produzcan encharcamientos en el campo y el agua se percole.

XI BIBLIOGRAFIA.

- Cerda Santana / Matuz Carla. 2008. "Determinación de las principales características hidrofísicas del suelo y desarrollo radicular en la caña de azúcar en el ingenio Monte Rosa," Monografía para optar al título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional de Ingeniería, UNI-RUPAP, Managua-Nicaragua
- Espinales Edgar. 1971. Levantamiento de suelos de la región pacífica de Nicaragua. Volumen I, Parte 1,2 y3 Descripción de suelos. Catastro e inventario de recursos naturales de Nicaragua. Managua – Nicaragua.
- Castro Espinoza Norman / Obando Oscar. 1994. Análisis del manejo del riego por aspersión en el centro Nacional de Investigación Agropecuaria, trabajo de diploma, Universidad Nacional Agraria, Managua-Nicaragua. Hernández González Luis / Avilés Silva Antonio / González Balladares
- determinación de parámetros edafoclimáticos e hidrofísicos de los suelos en el centro nacional de investigación agropecuaria y biotecnología (CNIAB). Francisco José Álvarez / Gerardo Gustavo González, Monografía para optar al título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional de Ingeniería, UNI-RUPAP, Managua-Nicaragua.
- FAO. 2007. Guía para la descripción de perfiles de suelo (segunda edición). Roma
- Evaluación de los sistemas de riego de Cañones de alta presión en las fincas: Bosque de oro, Monte Largo, Miraflores, Hular, Campirano del Ingenio Monte Rosa. Autor: Claudia Cecilia Vallecillo, Monografía para optar al título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional de Ingeniería, UNI-RUPAP, Managua-Nicaragua
- Fernández, Fidel. 1999. Maestría en ingeniería de Regadíos. Centro de Estudios y Experimentos de Obras hidráulicas. Madrid- España.
- González Arias, Horacio. 1991. Estudio de riego de la UPE Azacualpa, Ingenio Montelimar. Trabajo Monográfico. UNI. Managua, Nicaragua

- Juárez Badillo. 2001. Mecánica de suelos. LIMUSA NORIEGA-EDITORES, Balderas 95, México, D.F.
- Tarjuelo, José María. 2005. El Riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa, España. 3^{ra} edición.
- 2000, Caracterizaciones Municipales.
- El Riego Autor: Ricardo Dueñas, Cuba.
- Técnica del riego, D.W. Thorne PH D. H.B. Peterson
- Material básico para la redacción de un material S.A.R, Javier Lujan García, Dr. Ing. Agrónomo, José R. García Vilches, Ing. Agrónomo
- Eficiencia del riego, Javier Lujan García, centro de estudios hidrográficos.
- Curso de riego. Riego y Drenaje, Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria MIDINRA Dirección Industria Azucarera.
- Las necesidades de agua de los cultivos, Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24.
- Plantas de bombeo para riego, Servicio de Conservación de Suelos Dpto. de Agricultura de los E.U.AA
- Ensayos de hidráulica aplicada al riego, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Curso de postgrado Diseño hidráulico de sistemas de riego por aspersión con rociadores giratorios, Ernesto García Ruiz
- Bombas centrífugas, E. Corniur Rayo C. Mainor Hasta Editorial paraninfo.
- Máster en ingeniería de regadíos, sistemas de riego por aspersión tomo IV Y V (CEDEX), José Ramón García Vilches, Ramón Gutiérrez Serret.
- Reporte de prácticas profesionales, Miguel Ángel López García, Universidad Autónoma de zacatecas "Francisco García Salinas"
- Datos proporcionados por Ing. Egda Castillo Asesora de la Tesis, y responsable del área de Manejo de Agua del INTA – CNIAB.

- Proyecto de Construcción de Pozo en INTA – CNIAB, informe de avance nº 1.
- Diseño preliminar de pozo Estratigrafía, INTA- CNIA Managua.
- Proyecto de Construcción de Pozo en INTA – CNIAB, informe de avance nº 2

Internet

- <http://www.scribd.com/doc/32673659/RIEGO-POR-ASPERSION-trabajo-final-teoria>
- <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/iii-determinacion-del-contenido-de.html>
- <http://es.scribd.com/doc/7001077/Planificacion-y-Diseño-Unidad-de-Riego-Aspersion>
- http://perforacionesdepozos.com/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=16 ----- OBJETIVOS DE LA PRUEBA DE AFORO DEL EQUIPO DE BOMBEO
- <http://es.scribd.com/doc/5364042/ensayo-de-humedad> -----
-----OBJETIVOS DE LA PRUEBA DE HUMEDAD EN EL SUELO.
- <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/iii-determinacion-del-contenido-de.html> ----- HUMEDAD EN EL SUELO
- <http://es.scribd.com/doc/7001077/Planificacion-y-Diseño-Unidad-de-Riego-Aspersion> ----- INFILTRACION
- <http://www.scribd.com/doc/32673659/RIEGO-POR-ASPERSION-trabajo-final-teoria>
- <http://www.Elregante.com>